

HELHa
Haute École Louvain en Hainaut
UNIVERSITÉ DE NAMUR
Revue des
QUESTIONS SCIENTIFIQUES
ISSN 0035-2160
Actualité, histoire et philosophie des sciences
Tome 189, N°1-2, 2018
Analyse en ondelettes - p. 5
EVOLUTION
De l'Animal à l'Humain - p. 51
Rotation terrestre - p. 101
Bureau de dépôt : B 5330 Assesse 1 – Agréation n°P207124

ÉDITEUR RESPONSABLE :

Jean-François Stoffel
Haute école Louvain-en-Hainaut – Département paramédical
Rue Trieu Kaisin, 136 – 6061 Montignies-sur-Sambre – Belgique
Courriel : stoffeljf@helha.be

ADMINISTRATION :

Anne-Martine Baert
Université de Namur
Rue de Bruxelles, 61 – 5000 Namur – Belgique
Courriel : anne-martine.baert@unamur.be

WEBMASTER :

Nathanaël Laurent
Université de Namur
Rue de Bruxelles, 61 – 5000 Namur – Belgique
Courriel : nathanael.laurent@unamur.be

SITE INTERNET :
http://www.revuedesquestionsscientifiques.be

Fondée en 1877 par la Société scientifique de Bruxelles, la Revue des questions scientifiques est une publication périodique trimestrielle toujours publiée par ladite Société, avec le soutien de la Catégorie paramédicale de la Haute école Louvain-en-Hainaut et de l'Université de Namur. Pluridisciplinaire et francophone, elle est une revue de haute vulgarisation scientifique, consacrée aux sciences, y compris leur actualité, leur histoire, leur philosophie et leur impact sociétal. Elle est membre de l'Association des revues scientifiques et culturelles de Belgique. Tous les manuscrits reçus sont soumis à un comité de lecture constitué d'au minimum deux experts. En fin d'année, leur nom est publié dans la Revue.

Tome 189 2018

Revue des Questions Scientifiques

Actualité, histoire et philosophie des sciences

organe de la
Société scientifique de Bruxelles
publié avec le soutien de la
Catégorie paramédicale de la
Haute école Louvain-en-Hainaut
et de
l'Université de Namur

Table des matières

Éditorial

Articles

Comptes rendus

Éditorial

La *Revue des Questions Scientifiques* : un défi toujours d'actualité !

Patricia Radelet-de Grave
Présidente de la Société scientifique de Bruxelles

Naji Habra
Recteur de l'Université de Namur

Philippe Declercq
Directeur-Président de la Haute école Louvain-en-Hainaut

Créée en 1877 par la Société scientifique de Bruxelles qui venait d'être fondée deux ans plus tôt, la *Revue des Questions Scientifiques* s'est vu confier, dès sa création, la mission de vulgariser et de diffuser le savoir scientifique auprès des universitaires non spécialisés dans le domaine couvert par les articles, alors que les *Annales de la Société scientifique de Bruxelles*, aujourd'hui disparues, s'attachaient, elles, à le faire progresser par des contributions accessibles aux seuls spécialistes. Près de 140 ans plus tard, à l'heure où, d'une part, le numérique permet une diffusion quasi instantanée de l'information et où, d'autre part, l'hyper-spécialisation règne dans la plupart des domaines scientifiques de pointe, la nécessité d'offrir une information tout à la fois accessible et de qualité reste, plus que jamais, d'actualité. La *Revue des Questions Scientifiques* entend donc rester une revue francophone de haute vulgarisation scientifique, consacrée aux sciences — y compris leur actualité, leur histoire, leur philosophie et leur impact sociétal —, offrant une information scientifiquement validée par un comité de lecture, et globalement accessible à un étudiant ayant obtenu un diplôme de bachelor dans l'une des disciplines scientifiques.

Historiquement proche de l'Université catholique de Louvain et de l'Université de Namur, la *Revue des Questions Scientifiques*, tout en restant l'organe indépendant de la Société scientifique de Bruxelles, s'est officiellement adjointe, depuis le 15 septembre 2017, le soutien de l'Université de Namur et

celui de la Haute école de Louvain-en-Hainaut. Il nous plaît de souligner cette fructueuse collaboration entre une Université et une Haute école au profit de l'une des plus anciennes revues belges, car cette collaboration témoigne que l'ensemble des établissements d'enseignement supérieur est appelé à contribuer au développement scientifique.

Dans la lignée prestigieuse du R.P. Ignace Carbonnelle (1829-1889), de Paul Mansion (1844-1919), de Charles-Jean de La Vallée-Poussin (1866-1962) et enfin du P. Charles Courtoy (1916-2008), le professeur Guy Demortier a assuré, durant plus de vingt ans, la fonction de Secrétaire général de la Société scientifique de Bruxelles et donc celle d'éditeur de la *Revue des Questions Scientifiques*, et ce à un moment où la presse imprimée a dû affronter l'ébranlement suscité par l'arrivée d'internet. Nous lui exprimons tous notre plus vive reconnaissance.

À M. Jean-François Stoffel, qui reprend le flambeau, nous souhaitons de surmonter avec succès le défi qui fut et qui reste celui de la *Revue des Questions Scientifiques*.

Revue des Questions Scientifiques, 2018, 189 (1-2) : 5-49

L'analyse en ondelettes

De la recherche pétrolière aux reliques du Big Bang

(mise à jour)

Jean-Pierre Antoine
Institut de Recherche en Mathématique et Physique
Université catholique de Louvain

jean-pierre.antoine@uclouvain.be

Résumé

Cet article est une introduction relativement élémentaire à la théorie des ondelettes. Après une introduction consacrée au traitement numérique des signaux et des images, on étudie successivement la transformée en ondelettes (TO) continue et la TO discrète en dimension 1, ensuite on décrit brièvement quelques applications, jusqu'à la découverte récente des ondes gravitationnelles. On passe ensuite à la TO en dimension 2, continue et discrète, et on mentionne quelques applications et diverses généralisations. Le papier se termine par quelques remarques historiques et bibliographiques. A noter qu'il s'agit ici d'une mise à jour de l'article, portant le même titre, publié dans la *Revue des Questions Scientifiques* (Antoine,2007). Voir en particulier les Sections 5.1, 7.1 et 9.

Abstract

The present article is a relatively elementary introduction to wavelet theory. After an introduction devoted to the digital analysis of signals and images, we study successively the continuous wavelet transform (WT) and the discrete WT in dimension 1. Then we describe briefly some applications, up to the recent discovery of gravitational waves. Next we switch to the two-dimensional WT, both continuous and discrete, and we list a few applications and generalizations. Finally we conclude with some historical and bibliographical remarks. Actually, this is an update of the article, with the same title, published in the *Revue des Questions Scientifiques* (Antoine,2007). See, in particular, Sections 5.1, 7.1 et 9.

Plan de l'article

1. Avant-propos

Nous sommes constamment environnés de signaux : radio, télévision, téléphone portable (smartphone), photos numériques,. . . , et le mode de vie contemporain repose chaque jour davantage sur la transmission de tels signaux. Ceci implique différentes opérations, à savoir, l'acquisition (souvent analogique), la numérisation (c'est-à-dire la discrétisation et l'encodage en langage binaire), la compression (les signaux sont de plus en plus

volumineux), la transmission avec un minimum de distorsion, et enfin la réception et la reconstruction du signal avec un niveau de fidélité acceptable.

Parmi les techniques utilises, l'analyse en ondelettes est particulièrement performante. Le but de cet article est d'en fournir un panorama aussi complet que possible sans recourir à des outils mathématiques sophistiqués. Avant d'entrer dans le vif du sujet, il faut signaler au lecteur le merveilleux petit ouvrage de Barbara Hubbard (1995,1998), basé sur une série d'entretiens avec les "pères fondateurs" de la théorie, une lecture incontournable (et quasiment sans formules !) avant d'aborder des ouvrages plus techniques. On lira aussi avec intérêt l'article "Ondelettes" dans l'Encyclopaedia Universalis (version 2006 ou ultérieure). Cet article, non technique lui aussi, est dû à Alex Grossmann et Bruno Torrésani (Grossmann et Torrésani, 2006) deux des interlocuteurs de B. Hubbard.

Pour bien situer l'actualité de notre sujet, il convient de signaler d'emblée que l'analyse en ondelettes est née en 1985, un peu par hasard, c'est donc une technique très récente. Le géophysicien Jean Morlet en a découvert empiriquement le principe, dans le contexte de la recherche pétrolière, et c'est en collaboration avec le physicien mathématicien Alex Grossmann que la méthode fut mise au point (Grossmann& Morlet, 1984 ; Grossmann, Morlet & Paul, 1985). Les développements furent rapides, grâce aux travaux d'Ingrid Daubechies, Yves Meyer, Stéphane Mallat et bien d'autres, si bien qu'à l'heure actuelle on retrouve les ondelettes dans d'innombrables domaines de la physique, des mathématiques et de l'ingénierie. Quelques remarques historiques et des références bibliographiques détaillées seront données en fin d'article (Section 10.).

2. Le traitement numérique des signaux et des images

Avant toutes choses, il convient de préciser l'objet de notre étude, la notion de signal analogique et de signal numérique. Qu'est-ce qu'un signal ? Un signal analogique n'est rien d'autre qu'une fonction $f(t)$ représentant l'évolution temporelle d'une certaine quantité physique, telle qu'une température, un cours de bourse, une tension électrique ou la densité du trafic automobile en un point donné. Un exemple est donné à la Figure 1(a), en l'occurrence un "chirp", c'est-à-dire un signal dont la fréquence augmente avec le temps. Par contre, un signal numérique est une séquence finie de nombres $\{f(t_1), f(t_2), \ldots, f(t_N)\}$, en général multiples d'une unité fixée (p. ex. des entiers).

De la même façon, une image analogique est un signal bidimensionnel, c'est-à-dire une fonction $f(x, y)$ définie dans le plan. Par contre, une *image*

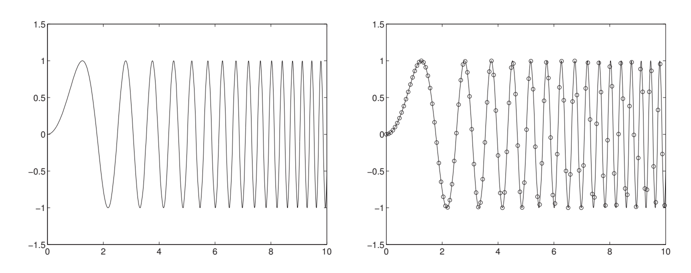
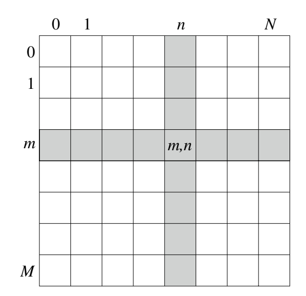


FIGURE 1 – (A gauche) Signal analogique (continu) ;
(A droite) Signal numérique obtenu par échantillonnage du signal analogique.

numérisée (noir et blanc) est un ensemble de pixels (picture elements), à chacun desquels est attribué, en général, un niveau de gris, de 0 (noir) à 255 (blanc). Le nombre $256 = 2^8$ traduit le codage sur 8 bits en binaire, p. ex. 10010101. Une image numérisée en *niveaux de gris* n'est donc rien d'autre qu'une fonction définie sur une grille discrète et prenant des valeurs discrètes, c'est-à-dire un tableau (matrice) de nombres (binaires). Ce principe de numérisation est illustré à la Figure 2(a), qui montre une telle matrice de taille $M \times N$, où les entiers (m, n) indexent les différents pixels. Une telle image contient donc une quantité d'information énorme (se chiffrant facilement en Mo !).

Par nécessité, représenter un signal sur un ordinateur suppose de le numériser, par échantillonnage. Mais ceci pose tout de suite le problème de la fréquence d'échantillonnage : elle doit être suffisante pour que le signal discret obtenu ne soit pas trop différent du signal continu d'origine. La Figure 1 illustre ce point. Le panneau de gauche présente le signal continu.



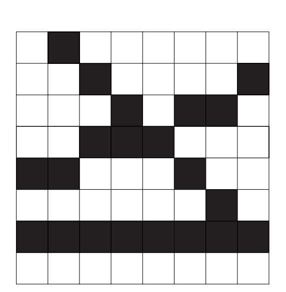


FIGURE 2 – (a) Schéma d'une image numérisée ;
(b) Difficultés liées à la pixellisation.

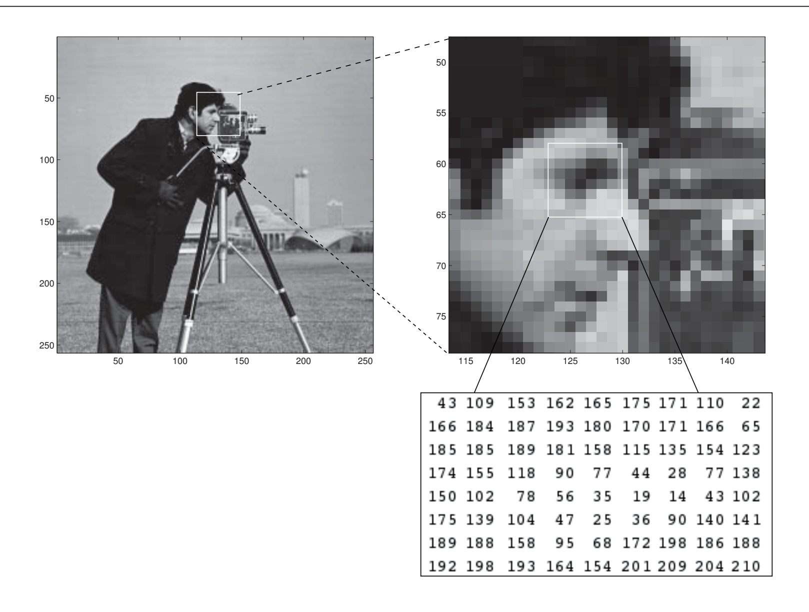


FIGURE 3 – Un exemple concret d'image numérique.

Sur le panneau de droite, on constate que le début du signal, dont la fréquence est basse, est correctement échantillonné, tandis que la fin ne l'est plus du tout, la fréquence d'échantillonnage est trop faible, le signal discret a perdu une bonne partie de l'information (on dit que le signal est sous-échantillonné). Ainsi, la qualité d'un fichier audio de type MP3 se mesure à son taux d'échantillonnage, plus celui-ci est élevé, moins les défauts seront audibles. De même la télévision numérique à haute définition présente une qualité d'image nettement supérieure à celle de la télévision à tube cathodique.

Le même problème se pose évidemment dans le cas d'une image. Si elle est sous-échantillonnée, des défauts apparaîtront. En effet, de par sa définition même, elle va présenter des difficultés géométriques : courbes et droites sont mal reproduites, il y a des effets de pixellisation (lignes en escalier, p. ex.). La Figure 2(b) illustre ces effets indésirables, tandis que la Figure 3 présente un exemple concret.

Ceci dit, que veut-on faire d'un signal ou d'une image numérisés? Plusieurs types d'actions peuvent être envisagés.

(1) Analyser : détecter, mesurer, compter divers "objets" particuliers :
- détecter des "discontinuités", qui signalent un changement de régime
- détecter un motif particulier dans une bande audio ou une image
- photos aériennes : détecter des routes, des bâtiments, ...

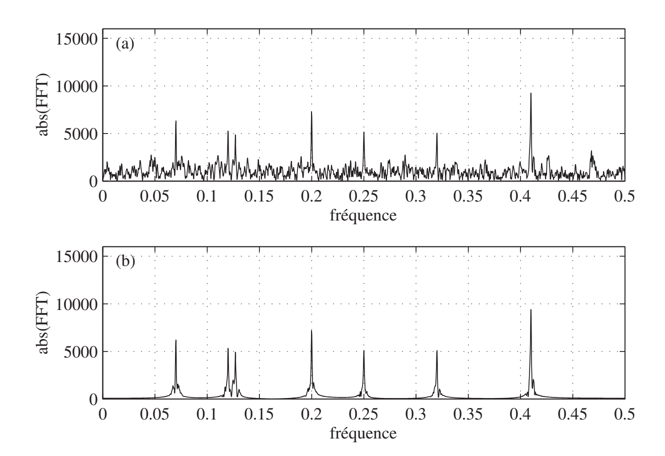


FIGURE 4 – (En haut) signal bruité : spectre RMN original ;
(En bas) signal débruité : spectre reconstruit après élimination du "bruit"
(d'après Antoine et al, 2004, Sec.12.7.1)

- images du ciel : localiser des galaxies
- fluide, trafic automobile : suivre des "objets" en mouvement
- photos : reconnaître des personnages ("image retrieval")
- texte : lecture optique
- empreintes digitales (FBI)

(2) Modifier :

- nettoyer le signal ou l'image : enlever le "bruit", des défauts, améliorer le contraste
- transmettre et reconstruire le signal ou l'image, ce qui implique de le comprimer sans perte d'information intolérable (radio, télévision)
- imprimer une signature invisible dans une image (tatouage, "watermarking").

Il faut remarquer ici que la notion de bruit est relative ; en gros, elle recouvre tous les aspects du signal auxquels on ne s'intéresse pas, aussi bien les défauts que les détails non désirés. En effet, le niveau de fidélité de la reconstruction du signal après transmission dépend du but recherché. Par exemple, s'il faut seulement s'assurer de la présence d'une personne dans une photo, une résolution faible suffira. Tous les détails plus fins peuvent être supprimés, ils sont donc considérés comme du bruit. Par contre, s'il s'agit de vérifier de petits détails, une résolution élevée est nécessaire, il n'y a pas d'autre bruit à éliminer que les défauts éventuels. Les Figures 4 et 5 présentent deux exemples de débruitage d'un signal et d'une image,

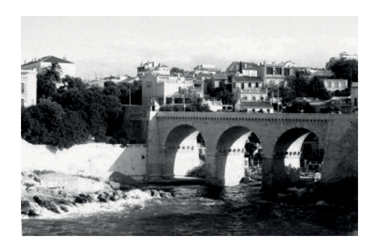
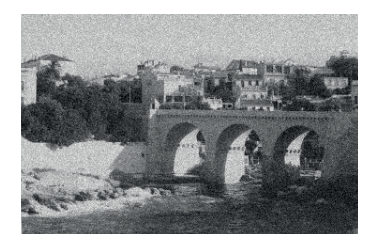




FIGURE 5 – Débruitage d'une image : (En haut, à gauche) Image nette ; (En haut, à droite) Image avec ajout de bruit ; (En bas) Image débruitée (d'après Antoine et al, 2004, Sec.12.7.1).

respectivement.

Pour toutes les opérations mentionnées ci-dessus, il faut rendre le signal plus "propre", plus petit, mais toujours utilisable, sans perte intolérable d'information. Pour ce faire, l'on devra transformer, manipuler le signal, c'est-à-dire agir sur les nombres qui le composent. Les techniques utilisées pour arriver à ce but constituent le *traitement numérique des signaux et des images*.

3. Traitement de signaux analogiques en dimension 1

3.1. Principes de base

Le principe de base du traitement du signal consiste à représenter un signal arbitraire, c'est-à-dire une fonction appartenant à une classe que l'on s'est définie, comme combinaison linéaire de fonctions de base φ_n :

$$f = \sum_{n \in I} c_n \varphi_n. \tag{3.1}$$

L'exemple classique est la classe $L^2(\mathbb{R}, dt)$ des signaux d'énergie finie, réalisés par des fonctions mesurables (au sens de Lebesgue) f vérifiant la condi-

tion

$$\int_{-\infty}^{\infty} |f(t)|^2 \, dt < \infty \quad \text{(fonctions de carré sommable).}$$

Dans la relation symbolique (3.1), l'indice n peut prendre des valeurs continues ou des valeurs discrètes. Evidemment, si l'ensemble d'indices I est infini, comme c'est en général le cas, il faut donner un sens mathématique précis à la sommation. La fonction f est donc équivalente à la famille $\{c_n\}$ de ses coefficients (qui ne sont pas nécessairement uniques, à moins que les fonctions φ_n ne soient linéairement indépendantes). Ce sont ceux-ci que l'on va manipuler et transmettre, éventuellement après les avoir normalisés ("quantification").

L'étape suivante consiste à tronquer le développement (3.1) après un nom.-bre de termes aussi petit que possible. Nous avons donc maintenant un problème d'*approximation* : dans quelle mesure le développement tronqué représente-t-il correctement le signal f ? Quelle est l'erreur commise ?

3.2. L'analyse de Fourier

La méthode traditionnelle consiste à prendre pour fonctions de base des fonctions trigonométriques $\varphi_n(t) = e^{int}, n \in \mathbb{Z}$, (ou des sinusoïdes/cosinusoïdes). S'il s'agit d'une fonction 2π-périodique ou d'une fonction sur l'intervalle $[0, 2\pi]$ (que l'on peut identifier avec le cercle unité), on obtient une *série de Fourier*, correspondant à des indices n entiers, $n \in \mathbb{Z}$:

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \sum_{n=-\infty}^{\infty} e^{int} \widehat{f}(n), \tag{3.2}$$

et son inverse

$$\widehat{f}(n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}) \int_{-\infty}^{\infty} e^{-int} f(t) \, dt. \tag{3.3}$$

Par contre, s'il s'agit d'un signal à durée indéfinie ($t \in \mathbb{R}$), on obtient la *transformée de Fourier* :

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{i\omega t} \, \widehat{f}(\omega) \, d\omega, \tag{3.4}$$

et son inverse

$$\widehat{f}(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i\omega t} f(t) \, dt. \tag{3.5}$$

La relation (3.2), qui particularise (3.1), signifie que la fonction $f(t)$ peut être reconstruite à partir de ses "composantes fréquentielles" $\widehat{f}(n)$ et, de même, dans le cas continu (3.4).

Cette représentation, universellement utilisée, souffre toutefois de gra.-ves défauts. Physiquement, cela se comprend bien. En effet, le signal a en général un début et une fin, contrairement aux fonctions trigonométriques, qui "vivent" de moins l'infini à plus l'infini, la représentation (3.4) ne peut être correcte qu'au prix de sérieuses interférences destructrices.

Dans la représentation (3.4), la fonction $\widehat{f}(\omega)$ contient exactement la même information que le signal $f(t)$, mais elle a perdu toute notion de localisation temporelle : à quel moment la composante $\widehat{f}(\omega)$ apparaît-elle ? Ceci est évidemment une conséquence immédiate du principe d'incertitude de Fourier. Soit une fonction f bien localisée, en forme de pic de "largeur" Δf (une gaussienne, par exemple). La transformée de Fourier $\widehat{f}$ est aussi un pic, de largeur $\Delta\widehat{f}$. Alors le principe d'incertitude de Fourier dit que $\Delta f\, \Delta\widehat{f} \geq 1$: on ne peut pas localiser un signal avec une précision arbitraire à la fois en temps et en fréquence ! En outre, si la fonction f est nulle en dehors d'un intervalle fini, sa transformée de Fourier $\widehat{f}$ a nécessairement un support infini, car c'est une fonction analytique (le support de $\widehat{f}$ est le plus grand sous-ensemble fermé de $\mathbb{R}$ sur lequel $\widehat{f} \neq 0$).

Remarquons qu'il s'agit ici de physique *classique*. Mais c'est ce même principe d'incertitude de Fourier qu'applique Heisenberg pour obtenir ses célèbres relations d'incertitude $\Delta q\, \Delta p \;\geq\; \frac{1}{2}\hbar$ en mécanique *quantique*, en interprétant la largeur Δq comme la variance de la distribution des valeurs propres de l'observable position q (ici représentée par un opérateur dans l'espace de Hilbert des états du système), et de même pour l'observable moment p.

Le principe $\Delta f\, \Delta\widehat{f} \geq 1$ implique qu'un signal quasi-monochromatique, c'est-à-dire avec $\Delta\widehat{f}$ très petit, est extrêmement mal localisé en temps, c'est-à-dire que Δf est très grand, et inversément. Ceci est illustré dans la Figure 6. Les deux panneaux de gauche présentent une sinusoïde pure (a), idéalement de durée infinie ($\Delta f \gg 1$), et la valeur absolue de sa transformée de Fourier, qui est extrêmement bien localisée ($\Delta\widehat{f} \ll 1$). Les petites oscillations visibles en (c) proviennent du fait que la sinusoïde (a) est tronquée entre 0 et 4. Les deux panneaux de droite présentent en (b) la même sinusoïde à laquelle on a ajouté deux perturbations extrêmement localisées (idéalement des fonctions δ) et en (d) la valeur absolue de la transformée de Fourier correspondante. On constate que les perturbations très localisées en temps ($\Delta f \ll 1$) ont une transformée de Fourier très délocalisée ($\Delta\widehat{f} \gg 1$).

Par ailleurs, la représentation de Fourier est très peu économique. En effet, si le signal est plat, et donc ne contient aucune information, il faut calculer l'intégrale (3.4), ou sommer la série infinie dans le cas discret, pour

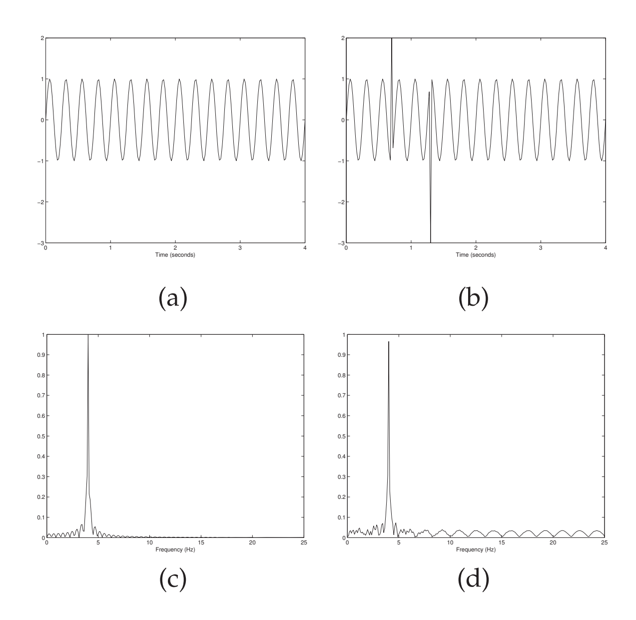


FIGURE 6 – Effet d'une perturbation localisée. (a) Une sinusoïde pure ; (b) La même avec deux perturbations très localisées ; (c) et (d) Valeur absolue des transformées de Fourier des signaux (a) et (b).

s'en apercevoir.

Mais surtout, cette représentation est instable, dans le sens qu'une perturbation infime du signal $f(t)$, d'une durée aussi courte et d'une amplitude aussi petite que l'on veut, va bouleverser totalement le spectre de Fourier $\widehat{f}(\omega)$. Un exemple frappant est donné dans la Figure 6 : sur le panneau (d) on constate la présence d'oscillations supplémentaires qui couvrent tout le spectre. La raison en est que la transformée de Fourier est une transformation *globale* et non pas *locale*.

Une critique analogue s'applique à la version discrète de l'analyse de Fourier. Prenons le cas d'une image, plus parlant. La technique consiste à décomposer l'image en *blocs*, dont la taille (4 × 4 pixels, 8 × 8 pixels,...) varie en fonction de celle des détails qui s'y trouvent (Figure 7), puis à représenter chaque bloc par des fonctions trigonométriques (si on prend des fonctions cosinus, la transformée est appelée DCT ou Discrete Cosine Transform) :

$$f_k(x,y) = \sum_{m,n} c_{mn}^k \cos mx \cos ny \qquad (k^{\text{ième}}\,\text{bloc}). \tag{3.6}$$

Dans cette approche, l'image est donc décrite par l'ensemble des coeffi-




FIGURE 7 – Décomposition en blocs d'une image.

cients c^k_{mn}.

Ici aussi, la méthode, quoique très largement utilisée, présente de sérieux inconvénients. Elle ne contient aucune notion de *résolution*, les indices m, n correspondent seulement à une fréquence d'oscillation. Il y a des difficultés de continuité aux frontières entre blocs, ce qui crée des défauts ("blocking effects"). Il y a aussi des difficultés pour représenter des lignes droites obliques et des courbes ("escaliers"), ainsi qu'on l'a vu sur la Figure 2(b) ; la raison en est évidemment que cette approche est intrinsèquement liée à la géométrie cartésienne "x, y".

3.3. La transformée en ondelettes continue

La discussion précédente montre que, dans tous les cas, la transformée de Fourier n'est pas suffisante en traitement du signal, il faut trouver autre chose.

Une première condition à satisfaire est d'avoir une transformation *locale*. Une deuxième est d'inclure une notion de *résolution*. En outre, on observe que les signaux réels ont un début et une fin, ils possèdent un large spectre de fréquences et présentent souvent une corrélation entre la durée d'une portion de signal et la fréquence de celle-ci. Ceci est typique par exemple de la voix humaine : les hautes fréquences ont une durée très brève, bien localisée en temps (consonnes), tandis que les basses fréquences ont une durée plus longue (voyelles).

La transformée de Fourier est incapable de reproduire toutes ces caractéristiques. La solution est de recourir à une *représentation temps-fréquence* ou *temps-échelle*. Il faut en effet *deux* paramètres. Le premier, noté a, est un paramètre d'échelle, qui en fait spécifie les *fréquences* présentes, étant

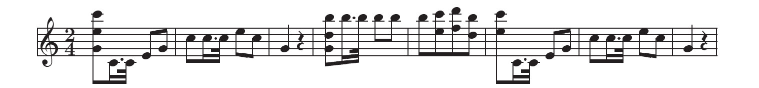


FIGURE 8 – Une représentation temps-fréquence traditionnelle d'un signal (Mozart, Don Giovanni, Acte I).

donné que $1/a$ équivaut à une fréquence. L'autre, b, indique la position dans le signal : à quel moment une fréquence donnée apparaît-elle ?

En réalité, ce concept de représentation temps-fréquence est connu depuis bien longtemps. L'exemple le plus familier est simplement une partition musicale (Figure 8) : une note est un morceau de son, apparaissant à un instant donné et possédant une hauteur (fréquence) donnée. Ceci est d'ailleurs davantage qu'une analogie. L'article de l'Encyclopaedia Universalis déjà mentionné (Grossmann et Torrésani, 2006) va jusqu'à dire qu'une ondelette est l'idéalisation mathématique d'une note de musique !

Dès lors, si l'on impose que la transformation soit *linéaire*, ce qui est le cas le plus fréquent, la forme générale d'une transformation temps-fréquence s'écrit

$$s(t) \mapsto S(b,a) = \langle \psi_{b,a} | s \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} \overline{\psi_{b,a}(t)}\, s(t)\, dt, \; b \in \mathbb{R}, \, a > 0, \qquad (3.7)$$

où $\psi_{b,a}$ est une fonction analysante (qui remplace les exponentielles de la transformée de Fourier), s le signal analysé, la barre supérieure dénote la conjugaison complexe et $\langle \cdot | \cdot \rangle$ le produit scalaire usuel dans $L^2(\mathbb{R}, dt)$.

Il reste à déterminer la fonction analysante. Les deux solutions les plus simples sont la *transformée de Fourier à fenêtre* ou *transformée de Gabor* et la *transformée en ondelettes* (TO). Dans les deux cas, la fonction $\psi_{b,a}$ est obtenue par modification, pour les différentes valeurs des paramètres a et b, d'une *unique* fonction ψ, supposée bien localisée. A chaque fois, b est simplement une translation. La différence essentielle est la façon dont est introduit le paramètre a.

Dans le cas de Gabor, on prend pour ψ une "fenêtre", typiquement gaussienne, et on pose $\psi_{b,a}(t) = e^{it/a}\, \psi(t-b)$. Ceci signifie que la dépendance en a est une modulation, de fréquence $1/a$; la fenêtre est de largeur constante, mais le nombre d'oscillations de la fonction $\psi_{b,a}$ est d'autant plus faible que a est plus grand.

Pour la transformée en ondelettes, par contre, on prend

$$\psi_{b,a}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}}\, \psi\left(\frac{t-b}{a}\right). \qquad (3.8)$$

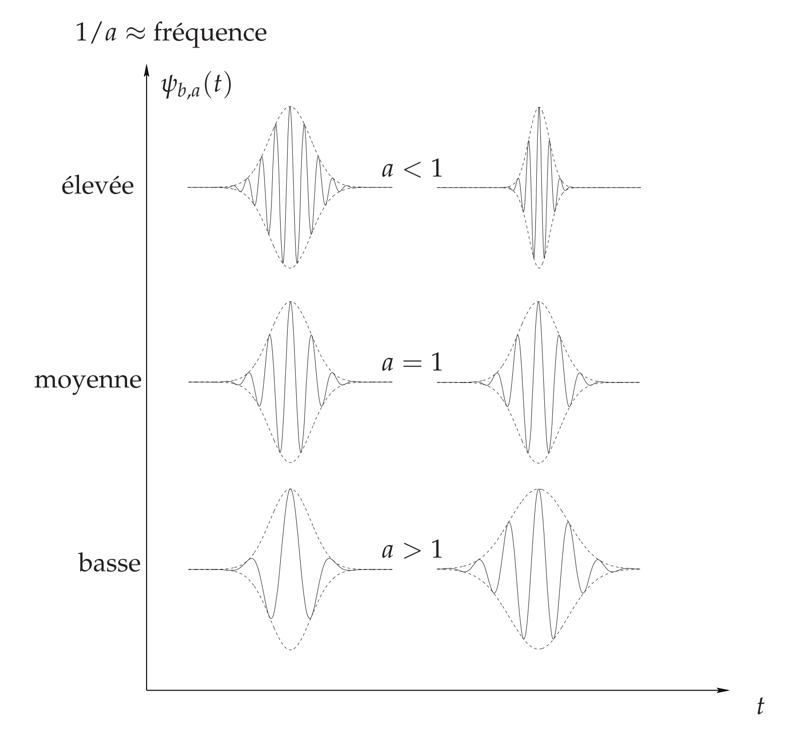


FIGURE 9 – La fonction $\psi_{b,a}(t)$ pour différentes valeurs du paramètre d'échelle a : à gauche, transformée de Gabor ; à droite, transformée en ondelettes.

L'action de a sur la fonction ψ est une dilatation $(a > 1)$ ou une contraction $(a < 1)$: la forme de la fonction $\psi_{b,a}$ ne change pas, elle est simplement étalée ou comprimée (effet "accordéon"). La distinction entre les deux transformations est illustrée à la Figure 9. Ceci dit, il faut encore préciser quelle fonction ψ on peut utiliser pour obtenir une transformation efficace.

Définitions de base de la TO

Selon (3.7) et (3.8), la transformée en ondelettes (TO) continue s'écrit :

$$S(b,a) = a^{-1/2} \int_{-\infty}^{\infty} \overline{\psi\left(a^{-1}(t-b)\right)}\, s(t)\, dt, \tag{3.9}$$

$$= a^{1/2} \int_{-\infty}^{\infty} \overline{\widehat{\psi}(a\omega)}\, \widehat{s}(\omega)\, e^{ib\omega}\, d\omega. \tag{3.10}$$

La deuxième formule résulte du théorème de Plancherel, qui nous dit que le produit scalaire est invariant par la transformation de Fourier :

$$\langle \widehat{f} | \widehat{g} \rangle = \langle f | g \rangle, \quad \text{pour } \ f, g \in L^2(\mathbb{R}, dt).$$

La première chose à faire est de préciser les conditions que doit vérifier la fonction ψ. On peut en distinguer quatre :

(i) Le formalisme suppose bien évidemment que $\psi(t)$, donc aussi $\widehat{\psi}(\omega)$, soit de carré sommable : $\psi \in L^2(\mathbb{R}, dt)$.

(ii) ψ doit être *admissible*, c'est-à-dire que l'intégrale suivante doit converger :

$$c_\psi = 2\pi \int_{-\infty}^{\infty} |\widehat{\psi}(\omega)|^2 \, \frac{d\omega}{|\omega|} < \infty. \tag{3.11}$$

Cette condition implique (et, en pratique, équivaut à)

$$\widehat{\psi}(0) = 0, \tag{3.12}$$

(Daubechies, 1992, Sec. 2.4) qui est à son tour équivalente à la condition de *moyenne nulle* (donc ψ doit être une fonction oscillante) :

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi(t) \; dt = 0. \tag{3.13}$$

Il s'ensuit que la TO d'un signal constant est nulle, ce qui répond à l'une des critiques à l'encontre de la transformée de Fourier.

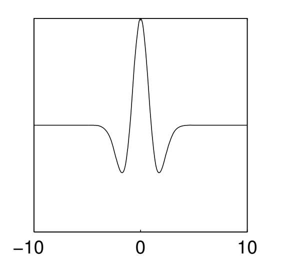
(iii) Pour obtenir une transformée efficace, $\psi(t)$ et $\widehat{\psi}(\omega)$ doivent toutes deux être *bien localisées*. Un comportement gaussien est ici optimal, ainsi que l'a souligné D. Gabor (1947) (le résultat est en fait beaucoup plus ancien). En effet, si $\psi(t) = ce^{-t^2/2}$, alors $\widehat{\psi}(\omega) = c' e^{-\omega^2/2}$ et on atteint la borne inférieure dans la relation d'incertitude, c'est-à-dire que l'on a $\Delta\psi \, \Delta\widehat{\psi} = 1$.

(iv) En plus de (ii), on impose souvent à ψ d'avoir un certain nombre de *moments nuls* :

$$\int_{-\infty}^{\infty} t^n \, \psi(t) \, dt = 0, \ n = 0, 1, \ldots N. \tag{3.14}$$

Cette propriété rend ψ plus efficace pour détecter les singularités d'un signal, puisqu'elle est alors "aveugle" aux polynômes de degré inférieur ou égal à N, c'est-à-dire la partie du signal qui contient le moins d'informations.

Les conditions (i) et (ii) sont essentielles pour l'existence même et l'inversibilité de la TO. Par contre, (iii) et (iv), quoique pas indispensables,



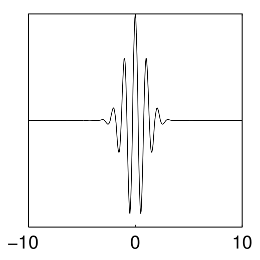


FIGURE 10 – Deux ondelettes usuelles :
(à gauche) Ondelette Chapeau mexicain ;
(à droite) Ondelette de Morlet (partie réelle).

garantissent que la TO est un outil efficace pour l'analyse de signaux et seront donc presque toujours imposées. Toutefois, les relations (3.9) et (3.10) permettent une généralisation à d'autres classes de fonctions, voire de distributions (fonctions généralisées au sens de L. Schwartz) : si la fonction s est singulière, le "produit scalaire" (qui n'en n'est plus un) reste bien défini si l'ondelette ψ est suffisamment régulière. On peut ainsi étendre la TO aux distributions tempérées (c'est-à-dire à croissance lente), pour autant que ψ appartienne à l'espace de Schwartz $\mathcal{S}$ (fonctions indéfiniment dérivables à décroissance rapide).

Donnons deux exemples d'ondelettes, en fait les plus utilisés. Le *Chapeau mexicain* est la dérivée seconde de la gaussienne,

$$\psi_H(t) = -\frac{d^2}{dt^2} e^{-t^2/2} = (1 - t^2)\, e^{-t^2/2}, \quad \widehat{\psi_H}(\omega) = \omega^2\, e^{-\omega^2}. \tag{3.15}$$

C'est une ondelette admissible, réelle, avec deux moments nuls $(n = 0, 1)$.

L'ondelette de *Morlet* est une gaussienne modulée :

$$\psi_M(t) = e^{i\omega_o t}\, e^{-t^2/2\sigma_o^2} + \varepsilon(t),\ \widehat{\psi_M}(\omega) = \sigma_o e^{-[(\omega-\omega_o)\sigma_o]^2/2} + \widehat{\varepsilon}. \tag{3.16}$$

Dans ces relations, ω_o représente la fréquence de modulation et σ_o dénote la largeur de la gaussienne ; ces deux paramètres doivent être choisis en fonction du signal analysé. Etant donné que le premier terme seul ne vérifie pas les conditions d'admissibilité (3.12)–(3.13), il faut ajouter une correction ε. Toutefois, pour ω_o suffisamment grand (typiquement $\omega_o\sigma_o \geq 5.5$), ce terme correctif (lui aussi de type gaussien) est numériquement négligeable (inférieur à 10^{-4}) et sera donc omis en pratique. Les deux ondelettes-type sont représentées à la Figure 10.

L'ondelette de Morlet est à valeurs complexes, donc la transformée correspondante $S(b,a)$ l'est aussi, si bien que l'on peut traiter séparément sa phase $\operatorname{Arg} S(b,a)$ et son module $|S(b,a)|$. La présence de la phase offre des avantages supplémentaires pour certaines applications basées sur la détection de fréquences spécifiques dans un signal, par exemple, la localisation des lignes spectrales (voir par exemple la Figure 4 ou la Figure 15).

Propriétés et interprétation de la TO continue

Exactement comme celle de Fourier, la transformée en ondelettes est inversible et donc elle admet une *formule de reconstruction*, à savoir

$$s(t) = c_\psi^{-1} \iint_{\mathbb{R}^2_+} \psi_{b,a}(t)\, S(b,a)\, \frac{da\,db}{a^2}. \tag{3.17}$$

Dans cette relation et les suivantes, $\mathbb{R}^2_+$ désigne le demi-plan temps-échelle $\{a > 0,\ b \in \mathbb{R}\}$. Autrement dit, le signal est donné par une superposition linéaire des ondelettes $\psi_{b,a}$ définies en (3.8) avec les $S(b,a)$ comme coefficients. Comme les exponentielles dans la transformation de Fourier, les ondelettes $\{\psi_{b,a}\}$ jouent le rôle d'une base continue. On voit ici explicitement le rôle de la condition d'admissiblité $c_\psi < \infty$ donnée en (3.11).

Par ailleurs, on vérifie qu'une fonction $f \in L^2(\mathbb{R}^2_+, da\,db/a^2)$ est la transformée en ondelettes d'un certain signal si et seulement si elle vérifie la propriété de reproduction :

$$f(b',a') = c_\psi^{-1} \iint_{\mathbb{R}^2_+} \langle \psi_{b'a'} | \psi_{b,a} \rangle\, f(b,a) \frac{da\,db}{a^2}\ . \tag{3.18}$$

Cette relation signifie que la valeur de f au point (b',a') dépend de ses valeurs aux points voisins (b,a). Elle a des conséquences importantes, car elle signifie que la TO est extrêmement *redondante* (ce qui est normal, puisqu'elle transforme un signal fonction d'une variable en une fonction de deux variables). Nous verrons ci-dessous que cette redondance peut utilement être exploitée (Section 3.3.).

Comment interpréter la transformée en ondelettes ? D'abord, les relations (3.9)–(3.10) nous apprennent que l'ondelette agit comme un filtre, c'est-à-dire une convolution dans la variable temporelle. [1] Ce filtre a deux propriétés essentielles, dont la conjugaison lui confèrent son efficacité : il est bien localisé et sa moyenne est nulle.

1. Rappelons que la convolution de deux fonctions f et g sur $\mathbb{R}$ est définie par $f * g(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t-y)\, g(y)\, dy$.

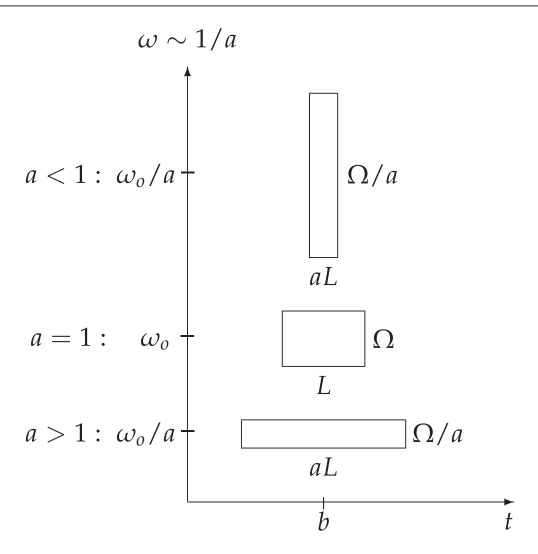


FIGURE 11 – Propriétés de support de $\psi_{b,a}$ et de $\widehat{\psi_{b,a}}$.

Supposons que ψ and $\widehat{\psi}$ soient aussi bien localisées que possible. Plus précisément, supposons que ψ ait un support numérique de largeur L, centré autour de 0, tandis que $\widehat{\psi}$ a support numérique de largeur Ω, centré autour de ω_o (ceci signifie que chacune des deux fonctions est numériquement négligeable en dehors de ce support). Dès lors, les ondelettes transformées $\psi_{b,a}$ et $\widehat{\psi}_{,ba}$ ont, respectivement, un support numérique de largeur aL autour de b et un support numérique de largeur Ω/a autour de ω_o/a.

On notera que le produit des deux largeurs est constant (nous savions déjà qu'il doit être borné inférieurement par une constante, en vertu du principe d'incertitude de Fourier). Ce fait essentiel est illustré à la Figure 11, qui est une représentation temps-échelle ou temps-fréquence, si on se rappelle que $1/a$ équivaut à une fréquence.

En conséquence :

- pour $a \gg 1$, $\psi_{b,a}$ est large et centrée sur une fréquence basse : la TO est sensible aux *basses fréquences*, ce qui convient pour une analyse grossière ;
- pour $a \ll 1$, $\psi_{b,a}$ est étroite et centrée sur une fréquence élevée : la TO est sensible aux *hautes fréquences* et permet donc l'analyse des détails fins.

Dès lors, la TO reproduit la corrélation entre la durée d'une portion de signal et sa fréquence moyenne.

Combinant ces propriétés de support avec le fait que l'ondelette $\psi_{b,a}$ est

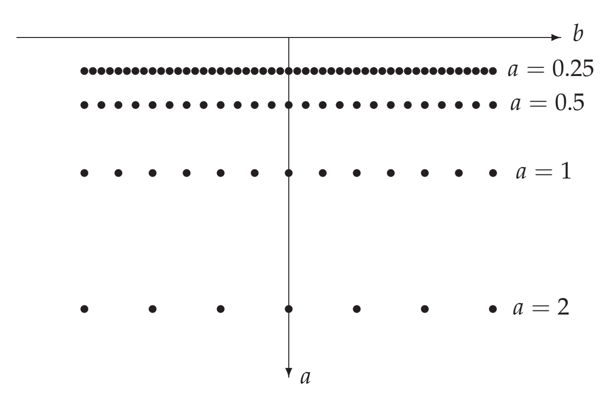


FIGURE 12 – Le réseau dyadique.

un filtre de moyenne nulle, on voit que la TO effectue un filtrage local en temps et en échelle :

$$S(b,a) \not\approx 0 \quad \Longleftrightarrow \quad \psi_{b,a}(t) \approx s(t), \tag{3.19}$$

autrement dit, l'ondelette $\psi_{b,a}$ filtre la partie du signal, s'il y en a une, qui "vit" autour de l'instant b et de l'échelle a. La TO peut donc s'interpréter comme un *microscope mathématique* positionné en b avec une optique ψ et un agrandissement $1/a$. C'est un détecteur et un analyseur de *singularités*. En outre, la relation (3.19) montre que la TO s'adapte au signal, on parlera de zoom automatique.

Tout ceci concerne la TO continue. Mais, en pratique, pour effectuer des calculs, la transformation doit être *discrétisée*, en restreignant les paramètres a et b dans (3.9)–(3.10) à un ensemble discret de points du demi-plan, par exemple le réseau dyadique $\{(k\,2^j, 2^j),\ j,k \in \mathbb{Z}\}$ représenté à la Figure 12 :

$$c_{j,k} = 2^{-j/2} \int_{-\infty}^{\infty} \overline{\psi(2^{-j}t-k)}\, s(t)\, dt,\ j,k \in \mathbb{Z}. \tag{3.20}$$

On remarquera que le réseau dyadique est bien adapté à la géométrie de l'ondelette (invariance par translation et dilatation discrètes). Alors la formule de reconstruction (3.17) prend la forme d'une série discrète

$$s(t) = \sum_{j,k \in \mathbb{Z}} c_{j,k}\, \widetilde{\psi_{j,k}}(t), \tag{3.21}$$

dans laquelle les fonctions $\widetilde{\psi_{j,k}}$ peuvent être construites explicitement à partir des $\psi_{j,k}$. Ceci mène à la théorie des *repères*, qui offre un substitut efficace aux bases orthonormales [11]. Nous y reviendrons ci-dessous.

Exploitation de la redondance : repères et arêtes

Comme indiqué plus haut, la TO est très redondante. Il n'est donc pas étonnant que toute l'information soit contenue dans un petit sous-ensemble du demi-plan temps-échelle. Cette redondance peut être exploitée de deux façons différentes, les *repères* (frames) ou les *arêtes*.

(a) Repères

Soit $\Gamma = \{(b_{j,k}, a_j), j, k \in \mathbb{Z}\}$ un sous-ensemble discret (un réseau) du demi-plan (b, a) (à noter que le pas d'échantillonnage $b_{j,k}$ de b peut dépendre de l'échelle j, comme pour le réseau dyadique où $b_{j,k} = k\,2^j$). On dira que Γ fournit une bonne discrétisation de la TO si un signal arbitraire $s(t)$ peut être représenté par une superposition de la forme (3.21),

$$s(t) = \sum_{j,k \in \mathbb{Z}} \langle \psi_{jk} | s \rangle \, \widetilde{\psi_{jk}}(t), \tag{3.22}$$

où l'on a posé $\psi_{jk} = \psi_{b_{j,k},a_j}$. Soulignons que (3.22) doit être une représentation *exacte*, c'est-à-dire qu'aucune information n'est perdue par rapport à la représentation continue (3.17). En fait, (3.22) signifie que le signal $s(t)$ peut être remplacé par la famille $\{\langle \psi_{jk} | s \rangle\}$ de ses coefficients d'ondelettes. En outre, on souhaite que la reconstruction de $s(t)$ à partir de ses coefficients soit numériquement stable (c'est-à-dire qu'une petite erreur dans les coefficients n'entraîne qu'une petite erreur dans le signal reconstruit). Comme l'a montré I. Daubechies [11], ceci est garanti si la condition suivante est satisfaite, pour deux constantes $\mathsf{m} > 0$, $\mathsf{M} < \infty$:

$$\mathsf{m}\, \|s\|^2 \;\leq\; \sum_{j,k \in \mathbb{Z}} |\langle \psi_{jk} | s \rangle|^2 \;\leq\; \mathsf{M}\, \|s\|^2 \tag{3.23}$$

(la borne inférieure garantit la stabilité numérique de la reconstruction). Dans ce cas, on dit que la famille $\{\psi_{jk}\}$ constitue un *repère* ("frame" en anglais), avec les bornes m, M. Si $\mathsf{m} = \mathsf{M} > 1$, le repère est dit *strict* ("tight frame"). Bien sûr, si $\mathsf{m} = \mathsf{M} = 1$ et $\|\psi\| = 1$, la famille $\{\psi_{jk}\}$ est simplement une base orthonormale.

Le point important est que, en pratique, un bon repère est quasiment aussi bon qu'une base orthonormale. Par "bon repère", nous entendons que le développement (3.22) converge suffisamment vite et qu'on peut donc le tronquer après un petit nombre de termes en gardant une bonne précision.

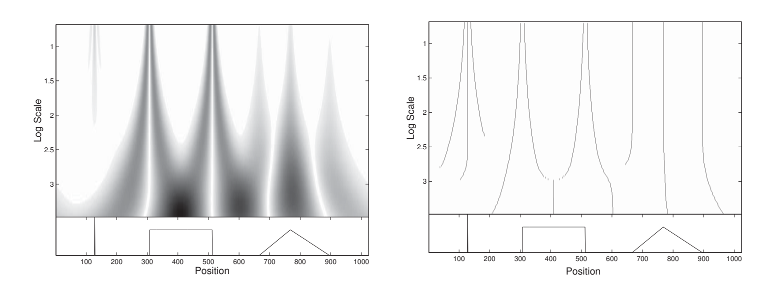


FIGURE 13 – Analyse d'un signal discontinu :
à gauche, la TO, à droite, le squelette.

L'analyse détaillée de Daubechies montre que c'est le cas si $|\mathsf{M}/\mathsf{m} - 1| \ll 1$, donc en particulier si le repère est strict. Ceci est essentiel, car la discrétisation de la TO ne mène presque jamais à une base orthonormale. En effet, des fonctions ψ très générales vérifiant la condition d'admissibilité (3.11) ou (3.12) peuvent fournir un bon repère, mais pas une base orthonormale, car les fonctions ψ_{jk} ne sont en général pas orthogonales. Ainsi, par exemple, les deux ondelettes canoniques, le Chapeau mexicain (3.15) et l'ondelette de Morlet (3.16), engendrent toutes deux de bons repères, mais non stricts.

(b) Arêtes et squelette

Une autre façon d'exploiter la redondance de la TO est d'utiliser les *arêtes* ; en gros, celles–ci sont des lignes de maxima locaux. On appelle *squelette* l'ensemble des arêtes et on démontre que la restriction de la TO à son squelette fournit presque toute l'information, avec une erreur contrôlable (Delprat et al., 1992) En pratique, on remplacera souvent la TO par son squelette, bien plus lisible. On effectue ainsi une réduction considérable du temps de calcul !

A titre d'exemple, la Figure 13 présente l'analyse d'un signal discontinu, comportant un delta de Dirac, un signal carré et un signal triangulaire, reproduits dans les panneaux inférieurs. Le panneau de gauche montre la TO (les niveaux de gris correspondent à l'intensité du module de la TO), celui de droite son squelette : celui-ci est manifestement plus facile à interpréter. On notera que les arêtes convergent, pour $a \to 0$, vers les positions exactes des discontinuités du signal, d'où leur utilité.

4. La transformée en ondelettes discrète : signaux numériques

Un des succès de la TO fut la découverte qu'il est possible de construire des fonctions ψ pour lesquelles $\{\psi_{jk}, j, k \in \mathbb{Z}\}$ est effectivement une base orthonormale de $L^2(\mathbb{R}, dt)$. Une telle base conserve les bonnes propriétés des ondelettes, y compris la localisation à la fois en temps et en fréquence. De plus, elle fournit des algorithmes rapides, car les matrices impliquées dans ceux-ci sont orthogonales et creuses, donc faciles à inverser. Ceci est la clé de l'efficacité des ondelettes pour les applications.

La construction repose sur deux observations : tout d'abord, quasiment tous les exemples de bases orthonormales d'ondelettes peuvent être déduits d'une *analyse multirésolution*. Ensuite la construction entière peut être traduite dans le langage des filtres, familiers dans la littérature sur le traitement du signal.

L'idée de l'analyse multirésolution découle de l'observation suivante. Supposons qu'une personne regarde un paysage de montagne. Dans un premier temps, elle a une vue d'ensemble. Ensuite elle affine son regard et découvre des détails, par exemple, la présence d'un chalet. Puis elle se focalise davantage et voit des détails plus fins, tels que la présence d'un chien devant le chalet. Notre système visuel fonctionne effectivement suivant ce schéma, popularisé par David Marr(1982) pour passer d'une résolution donnée à une résolution plus fine, il suffit d'ajouter les détails plus fins à l'image plus grossière. Mathématiquement (Mallat, 1989), on définira donc une *analyse multirésolution* comme une suite croissante de sous-espaces de $L^2(\mathbb{R})$,

$$\ldots \subset V_{-2} \subset V_{-1} \subset V_0 \subset V_1 \subset V_2 \subset \ldots \subset L^2(\mathbb{R}),$$

dont l'intersection est nulle, $\bigcap_{j \in \mathbb{Z}} V_j = \{0\}$, et qui épuisent l'espace des signaux $L^2(\mathbb{R})$, c'est-à-dire que $\bigcup_{j \in \mathbb{Z}} V_j$ est dense dans $L^2(\mathbb{R})$, et qui vérifient les deux conditions suivantes :

(1) $f(t) \in V_j \;\Leftrightarrow\; f(2t) \in V_{j+1}$.

(2) Il existe une fonction $\phi \in V_0$, appelée *fonction d'échelle*, telle que ses translatées entières $\{\phi(t-k), k \in \mathbb{Z}\}$ forment une base orthonormale de V_0.

La condition (1) signifie que toutes les échelles sont sur le même pied ($f(2t)$ est la fonction $f(t)$ comprimée d'un facteur 2).

Combinant (1) et (2), il s'ensuit que la famille de fonctions $\{\phi_{jk}(t) = 2^{j/2}\phi(2^j t - k), k \in \mathbb{Z}\}$ est une base orthonormale de V_j, pour chaque $j \in \mathbb{Z}$. Remarquons que l'on utilise ici aussi le réseau dyadique de la Figure 12

comme ensemble discret du demi-plan (b,a), ce qui a causé pas mal de confusion au cours des premières années.

Chaque V_j peut être interprété comme un espace d'approximation : l'approximation de $f \in L^2(\mathbb{R})$ à la résolution 2^j est donnée par sa projection sur V_j. Les détails additionnels pour passer de la résolution 2^j à la résolution deux fois plus fine 2^{j+1} sont donnés par la projection de f sur le complémentaire orthogonal W_j de V_j dans V_{j+1} :

$$V_j \oplus W_j = V_{j+1}. \tag{4.1}$$

On obtient alors

$$L^2(\mathbb{R}) = \bigoplus_{j\in\mathbb{Z}} W_j = V_{j_o} \oplus \left(\bigoplus_{j=j_o}^{\infty} W_j \right),$$

où j_o est la résolution minimale accessible.

Le résultat central est alors que, à partir de ϕ, on peut construire une fonction ψ, telle que l'ensemble $\{\psi_{jk}(t) = 2^{j/2}\psi(2^j t - k),\, j,k \in \mathbb{Z}\}$ soit une base orthonormale de $L^2(\mathbb{R})$: ce sont les ondelettes orthonormales.

Bien sûr, en pratique, on part d'un signal échantillonné dans V_J et on obtient une représentation finie

$$V_J = V_{j_o} \oplus \left(\bigoplus_{j=j_o}^{J-1} W_j \right). \tag{4.2}$$

A titre d'exemple, prenons un signal triangulaire, représenté dans le panneau supérieur de la Figure 14, et effectuons une décomposition sur 6 niveaux pour $J = 0$ et $j_o = -6$. La formule (4.2) nous donne

$$V_0 = V_{-6} \oplus W_{-6} \oplus W_{-5} \oplus W_{-4} \oplus W_{-3} \oplus W_{-2} \oplus W_{-1}.$$

De façon correspondante, le signal $f \in V_0$ se décompose comme suit :

$$\begin{aligned} f &= \sum_{k\in\mathbb{Z}} c_{-6,k}\, \phi_{-6,k} + \sum_{j=-6}^{-1} \sum_{k\in\mathbb{Z}} d_{jk}\, \psi_{jk} \\ &= c_{-6} + \sum_{j=-6}^{-1} d_j, \quad c_{-6} \in V_{-6},\, d_j \in W_j,\, j = 1, \ldots, 6. \end{aligned}$$

Le panneau inférieur donne l'approximation c_{-6} à $j_o = -6$ et les 6 panneaux au-dessus les détails successifs, de plus en plus fins, d_{-6}, d_{-5}, d_{-4},

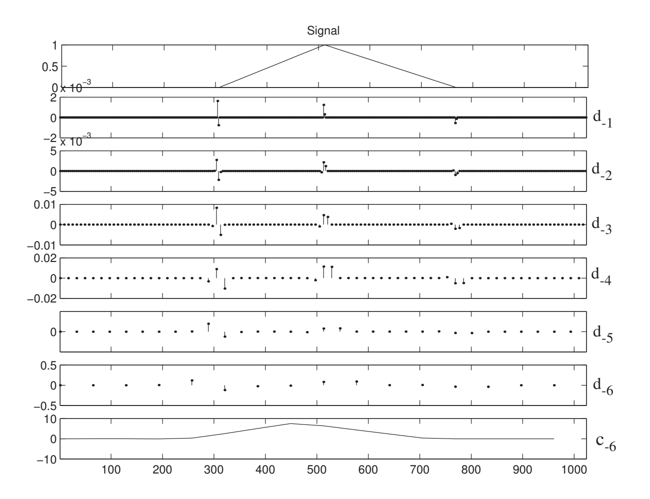


FIGURE 14 – Décomposition d'un signal triangulaire sur 6 niveaux : $j = -6, -5, \ldots, -1$. L'approximation à basse résolution $c_{-6} \in V_{-6}$ est donnée dans le panneau inférieur et les 6 niveaux de détails, de résolution croissante, $d_j \in W_j$, $j = 1, \ldots, 6$, dans les 6 autres panneaux.

d_{-3}, d_{-2}, d_{-1} correspondant à $j = -6, -5, \ldots, -1$. La somme des 7 termes redonne bien le signal analysé, présenté dans le panneau supérieur.

Cette TO discrète n'est pas redondante (expression minimale) et se prête particulièrement bien à la *compression* des données et au *débruitage* des signaux. De plus, elle aussi est particulièrement sensible aux singularités. En effet, les coefficients d'ondelettes c_{jk} sont plus grands dans les régions où la fonction analysée a des singularités, ils sont donc localisés dans le plan temps-échelle et décroissent rapidement en dehors de ces régions. Ceci contraste avec la transformée de Fourier, pour laquelle la moindre singularité ruine la décroissance rapide des coefficients. C'est bien ce que nous avons pu observer dans la Figure 6.

Historiquement, la première base orthonormale d'ondelettes est le système de Haar, introduit en 1910, soit bien avant la notion même d'ondelette (Daubechies, 1992) ! La fonction de base ('"ondelette-mère") s'écrit

$$\psi_{00}(t) = \begin{cases} 1, & 0 \leq t < \frac{1}{2}, \\ -1, & \frac{1}{2} \leq t < 1, \\ 0, & \text{autrement.} \end{cases}$$

Cette ondelette est très simple à utiliser, mais elle a un inconvénient ma-

jeur : la fonction ψ_{00}, et donc aussi toutes les fonctions ψ_{jk}, est discontinue, si bien que sa transformée de Fourier décroit très lentement, l'ondelette est donc très mal localisée en fréquence.

Malheureusement, la TO discrète est extrêmement rigide, si bien que différentes extensions ont été proposées. Parmi celles-ci, il faut en citer deux.

(1) Les bases biorthogonales : au lieu d'imposer les relations d'orthogonalité à l'intérieur d'une même analyse multirésolution $\{V_j\}$, on construit deux hiérarchies d'espaces d'approximation, $\{V_j\}$ et $\{\widetilde{V}_j\}$, obéissant à des relations d'orthogonalité croisées (Mallat, 2009, Sec. 7.4) En définitive, on obtient deux suites de sous-espaces d'ondelettes $\{W_j\}$ and $\{\widetilde{W}_j\}$, avec des bases (duales) $\{\psi_{j,k}, j,k \in \mathbb{Z}\}$, $\{\widetilde{\psi}_{j,k},\ j,k \in \mathbb{Z}\}$, respectivement, qui sont mutuellement orthogonales :

$$\langle \psi_{j,k} | \widetilde{\psi}_{j',k'} \rangle = \delta_{jj'} \delta_{kk'}. \tag{4.3}$$

En termes de ces bases, on obtient deux types de développements, pour $f \in L^2(\mathbb{R})$:

$$\begin{aligned} f &= \sum_{j,k \in \mathbb{Z}} \langle \widetilde{\psi}_{j,k} | f \rangle \, \psi_{j,k} \\ &= \sum_{j,k \in \mathbb{Z}} \langle \psi_{j,k} | f \rangle \, \widetilde{\psi}_{j,k}. \end{aligned} \tag{4.4}$$

Une base duale n'étant pas unique, ce schéma est beaucoup plus flexible que le précédent, et c'est celui qui est adopté dans la plupart des applications.

(2) Les ondelettes de seconde génération : ici aussi on utilise la flexibilité dans le choix d'un schéma biorthogonal. La famille $\{V_j\}$ ne détermine pas univoquement la famille $\{\widetilde{V}_j\}$, mais l'arbitraire dans le choix de l'ondelette de base se limite à un polynôme trigonométrique. L'idée est alors de partir d'un schéma biorthogonal, très simple en général, et de le modifier de proche en proche jusqu'à obtenir des ondelettes avec les propriétés souhaitées. L'avantage de la méthode, appelée *lifting scheme*, est qu'elle n'utilise ni la transformée de Fourier, ni le schéma dyadique traditionnel. On peut ainsi construire des ondelettes sur un intervalle ou sur une courbe arbitraire, et de même en dimension 2, sur une surface telle que la sphère (Sweldens, 1996).

5. Applications de la transformée en ondelettes en dimension 1

La TO a connu des multitudes d'applications, tant en physique, en ingénierie qu'en mathématiques. En les examinant, on s'aperçoit qu'il s'agit

avant tout de détection de singularités ou de périodicités (localement dans le temps) dans un signal, de débruitage, de compression de données. Ceci correspond parfaitement aux propriétés de la TO que nous avons discutées dans les sections précédentes. Citons-en quelques exemples, en commençant par les applications physiques.

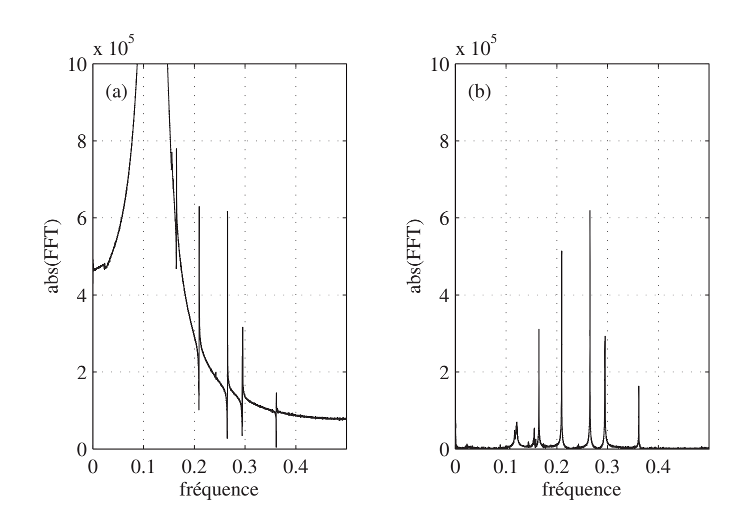


FIGURE 15 – Application de la TO en spectroscopie RMN : Soustraction d'un pic indésirable. (a) Le spectre originel ; (b) Le spectre reconstruit après soustraction du pic de l'eau (d'après Antoine et al., 2004, Sec.12.7.1)

5.1. Applications en physique

Il y a de nombreuses applications de la TO dans des domaines très variés de la physique. On trouvera davantage de détails, ainsi que les références aux articles originaux, dans la Section 12.7 de notre ouvrage (Antoine et al., 2004).

. *Son et acoustique :* musique synthétique, analyse de la parole (détection des formants), décomposition d'un train d'ondes acoustiques sous-marin.

. *Géophysique, astrophysique :* analyse de microséismes en prospection pétrolière, gravimétrie (fluctuations du champ gravitationnel local), séismologie, géomagnétisme (fluctuations du champ magnétique terrestre), astronomie (fluctuations de la longueur du jour, variations de l'activité solaire,

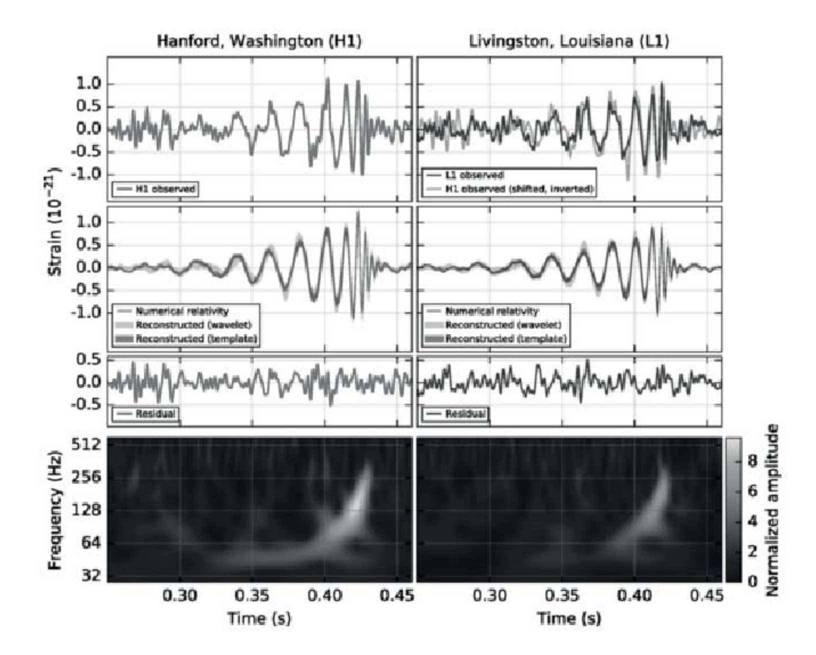


FIGURE 16 – L'expérience LIGO.
A gauche, les données de Hanford, à droite, celles de Livingston.
Dans chaque colonne, on donne, de haut en bas, le signal brut ;
le signal débruité, avec la prédiction relativiste et la reconstruction par ondelettes ; le résidu ; enfin, la TO du signal (Abbott et al., 2016).

mesurée par les taches solaires, etc.), paléoclimatologie (p. ex., analyse de carottes glaciaires ou benthiques).

. *Fractals, turbulence (1-D et 2-D) :* agrégats limités par la diffusion, phénomènes de croissance arborescente, identification de structures cohérentes dans les fluides turbulents, etc.

. *Physique atomique :* analyse de la génération d'harmoniques d'ordre élevé dans l'interaction laser-atome.

. *Spectroscopie RMN :* soustraction de lignes spectrales, filtrage du bruit. A titre d'exemple, outre le débruitage d'un signal montré dans la Figure 4, nous présentons dans la Figure 15 une autre application en spectroscopie, à savoir la soustraction du pic de l'eau dans un spectre RMN. L'aspect remarquable est que les petits pics, correspondant aux métabolites intéressants, ne sont en rien perturbés après l'élimination de l'énorme pic indésirable

(Antoine et al., 2004, Sec.12.7.1).

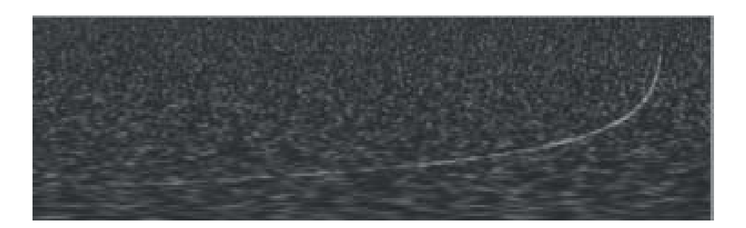


FIGURE 17 – Signal combiné LIGO dû à l'onde gravitationnelle émise par la collision de deux étoiles à neutrons (Bartos, 2018).

. *Cosmologie :* une application spectaculaire récente de la TO a été la première détection des ondes gravitationnelles par l'expérience LIGO (Abbott et al., 2016). Celle-ci comporte deux interféromètres localisés respectivement à Hanford, WA, et Livingston, LA. Chacun d'eux a enregistré un signal correspondant à l'onde gravitationnelle résultant de la fusion de deux trous noirs ; ceux-ci orbitent en spirale l'un autour de l'autre de plus en plus vite jusqu'à fusionner en un seul trou noir résiduel. La fréquence du signal augmente donc continûment jusqu'à la fusion, c'est-à-dire que l'on a un "chirp" (Figure 16). L'analyse montre que le signal analysé avec une ondelette de Morlet coïncide presque parfaitement avec la forme prédite par la relativité générale. Un événement analogue a ensuite été observé simultanément par LIGO et VIRGO, un détecteur analogue situé en Italie.

Plus récemment, on a observé la collision entre les deux étoiles à neutrons d'un système binaire en rotation en spirale (Abbott et al., 2017 ; Bartos, 2018). Cette fois, il y a émission simultanée d'ondes gravitationnelles et d'ondes électromagnétiques, en particulier un "sursaut" gamma (γ burst). Ceci permet de localiser la source et d'estimer sa distance. Ici aussi, la détection et la modélisation des phénomènes est obtenue par une analyse en ondelettes de Morlet, ainsi qu'il ressort de la Figure 17, qui est obtenue en combinant les signaux des deux détecteurs LIGO.

Selon les experts, ces résultats sont fondamentaux et ouvrent une nouvelle ère en astrophysique et en cosmologie.

5.2. Applications en médecine et biologie

Au rayon des applications médicales et biologiques, on trouve l'analyse et le suivi d'électrocardiogrammes, d'électro-encéphalogrammes ou de potentiels évoqués visuels, et notamment la détection de profils particuliers

précurseurs d'anomalies (épilepsie, par exemple). La TO est aussi utilisée pour étudier les corrélations à longue distance dans des séquences d'ADN, en particulier distinguer les séquences codantes et non codantes (Arnéodo et al., 1996). Dans ce cas précis, elle a permis de résoudre un conflit entre deux écoles, qui présentaient des résultats contradictoires. En fait les résultats étaient parfaitement compatibles, la différence apparente résultant de la présence d'une rampe dans un cas et pas dans l'autre. La TO étant aveugle à une telle rampe, elle a rendu les deux résultats semblables (Arnéodo et al., 1995).

Une autre application intéressante de la TO continue est la Spectroscopie en Résonance Magnétique Nucléaire (RMN), plus précisément les problèmes d'estimation de lignes spectrales (apodization, bruit aléatoire, ligne de base (baseline), pic du solvant, formes non standard des lignes spectrales). Un exemple de soustraction du pic du solvant est donné à la Figure 15. Ce domaine de recherche a donné lieu à plusieurs contrats européens Marie Curie (Suvichakorn et al., 2011).

5.3. Applications industrielles

Du côté des applications industrielles, on trouve la surveillance d'installations nucléaires, électriques ou mécaniques. Un exemple de nature différente est l'analyse du comportement de matériaux sous impact, illustré à la Figure 18 (Vandergheynst et al., 2001). Pour ce faire, l'expérimentateur fait tomber un percuteur muni d'un accéléromètre sur un disque du matériau à étudier (un plastique). Soit le percuteur rebondit, soit il perfore le disque. Dans les deux cas, on enregistre le signal d'accélération et on désire en tirer plusieurs informations physiques, telles que l'instant du premier et du dernier contact, celui de la pénétration maximum, les fréquences excitées, etc. Une analyse en TO avec un Chapeau mexicain fournit les trois données temporelles. La figure montre le signal, dans le cas d'un rebond, sa TO et le squelette de celle-ci. Ce dernier panneau donne de façon extrêmement précise l'information souhaitée.

Un autre type d'application de nature industrielle est la *caractérisation de formes* en vision robotique : la TO continue du contour d'un objet est traité comme une courbe dans le plan complexe (ombres chinoises).

5.4. Applications en mathématique

Du côté des mathématiques, c'est plutôt la TO discrète qui est utilisée. On peut citer comme applications l'analyse de singularités locales de fonctions, par la détermination d'exposants de Hölder locaux, l'emploi de la TO dans la résolution d'équations aux dérivées partielles ou les problèmes

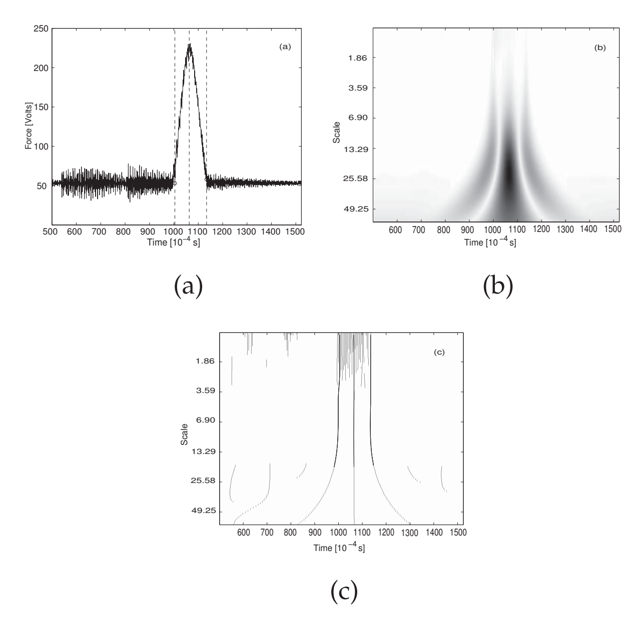


FIGURE 18 – Chute d'un percuteur sur un disque de plastique : analyse d'un signal de rebond avec une ondelette Chapeau mexicain : (a) Signal : accélération (= force) du percuteur qui rebondit et points de discontinuité à détecter ; (b) Valeur absolue de la TO du signal ; (c) Squelette correspondant (d'après Vandergheynst et al., 2001).

d'approximation de fonctions. Particulièrement intéressantes sont la caractérisation d'espaces fonctionnels par le type de décroissance des coefficients d'ondelettes (e.g. les espaces de Sobolev ou les espaces de Besov), ou la construction de bases inconditionnelles communes à toute une famille d'espaces de Banach (e.g. les espaces de Lebesgue $L^p(\mathbb{R}, dt), 1 \leq p < \infty$, les espaces de Sobolev ou les espaces de Besov). Les coefficients d'ondelettes spécifient aussi les propriétés de régularité de certaines classes de fonctions. Dans une autre direction, des bases d'ondelettes permettent d'obtenir une représentation presque diagonale de certains opérateurs (matrices creuses), ce qui est indispensable pour leur inversion. Enfin, les moments nuls fournissent des stratégies efficaces pour la compression des signaux en vue de leur transmission. Bien sûr, ces applications qualifiées de mathématiques ne sont pas étrangères à la physique ; ces mêmes propriétés sous-tendent les applications physiques citées ci-dessus, et sont même quelques fois utilisées explicitement.

6. La transformée en ondelettes en dimension 2

6.1. Définitions de la TO continue en dimension 2

Très vite s'est posée la question de l'application de la TO aux images. Le problème est de savoir comment généraliser l'outil de une à deux dimensions. Comme souvent, la réponse réside dans la géométrie, autrement dit la théorie des groupes. Il suffit de déterminer quelles sont les opérations que l'on souhaite appliquer à une image et la forme de la TO bidimensionnelle est fixée.

On procède de manière en tous points parallèle au cas unidimensionnel. Tout d'abord, on définit une *image* comme une fonction définie sur le plan et de carré sommable ("énergie finie" au sens de l'électromagnétisme) $I \in L^2(\mathbb{R}^2, d\vec{x})$: [2]

$$|I|^2 = \int_{\mathbb{R}^2} |I(\vec{x})|^2 \, d\vec{x} < \infty.$$

Pratiquement, une image en noir et blanc est une fonction positive bornée, prenant des valeurs discrètes entre 0 et 255, correspondant au niveau de gris de chaque pixel, comme expliqué plus haut dans la Section 2. :

$$0 \leq I(\vec{x}) \leq M, \ \forall \, \vec{x} \in \mathbb{R}^2 \ (M > 0).$$

Le principe est d'analyser l'image point par point à l'aide d'une *sonde* ψ :

$$\langle \psi | I \rangle = \int_{\mathbb{R}^2} \overline{\psi(\vec{x})} \; I(\vec{x}) \, d\vec{x}.$$

Une *ondelette* est alors une sonde admissible, c'est-à-dire une fonction de carré sommable, bien localisée en position *et* en fréquence, et vérifiant la condition d'admissibilité (faible) :

$$\int_{\mathbb{R}^2} \psi(\vec{x}) \, d\vec{x} = 0 \qquad (6.1)$$

(c'est donc une fonction oscillante). Sur cette ondelette, on effectue les opérations géométriques suivantes : translation par $\vec{b}$, rotation d'un angle θ et dilatation (zoom) d'un facteur $a > 0$. L'ondelette modifiée s'écrit

$$\psi_{\vec{b},a,\theta}(\vec{x}) = a^{-1} \, \psi(a^{-1} \, r_{-\theta}(\vec{x} - \vec{b})), \qquad (6.2)$$

où r_θ une rotation d'un angle θ, réalisée par la matrice usuelle 2×2 appartenant au groupe SO(2).

2. Pour $\vec{x} = (x, y), d\vec{x} := dx\, dy$.

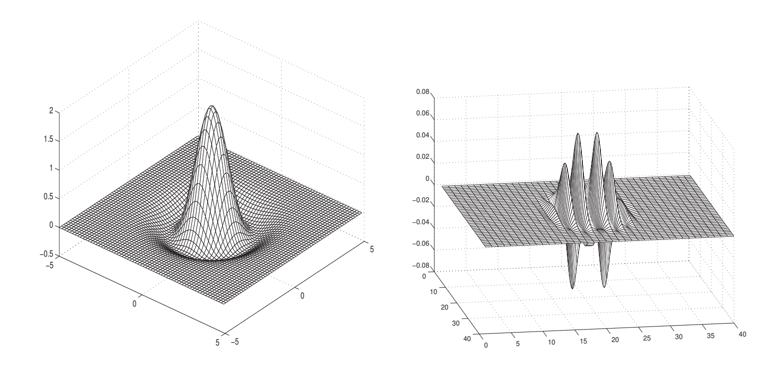


FIGURE 19 – Deux ondelettes bidimensionnelles :
(à gauche) le Chapeau mexicain (ondelette de Marr) ;
(à droite) l'ondelette de Morlet (partie réelle).

La *transformée en ondelettes* est alors donnée par l'analyse de l'image à l'aide de la sonde modifiée :

$$W_\psi I(\vec{b}, a, \theta) = \langle \psi_{\vec{b},a,\theta} | I \rangle$$

$$= a^{-1} \int_{\mathbb{R}^2} \overline{\psi(a^{-1} \, r_{-\theta}(\vec{x} - \vec{b}))} \, I(\vec{x}) \, d\vec{x}. \qquad (6.3)$$

Deux exemples standard d'ondelettes bidimensionnelles, en fait les mêmes qu'en dimension 1, sont le Chapeau mexicain (ondelette de Marr) et l'ondelette de Morlet 2-D, présentées à la Figure 19.

6.2. Propriétés essentielles

La TO continue bidimensionnelle a exactement les mêmes propriétés que celle en dimension 1 étudiée jusqu'ici.

(1) La TO est une convolution avec une fonction oscillante de moyenne nulle, dès lors elle prend des valeurs significatives uniquement là où l'ondelette et l'image se ressemblent, ce qui signifie que la TO effectue un *filtrage* en position, en échelle et en direction.

(2) La TO est *inversible* si et seulement si l'ondelette est admissible ; on a donc une *formule de reconstruction*

$$I(\vec{x}) = c_\psi^{-1} \iiint_G \psi_{\vec{b},a,\theta}(\vec{x}) \; W_\psi I(\vec{b}, a, \theta) \, d\vec{b} \, \frac{da}{a^3} \, d\theta,$$

$$G = \{\vec{b} \in \mathbb{R}^2, a > 0, \theta \in [0, 2\pi)\}. \qquad (6.4)$$

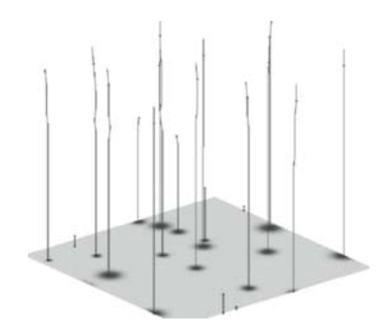



FIGURE 20 – Exemple d'arêtes en 2-D :
Simulation de points brillants à la surface du Soleil
(Antoine et al., 2004, Sec. 2.3.5).

Dans ces relations, ψ admissible signifie $c_\psi < \infty$, où c_ψ est une constante analogue à (3.11).

L'interprétation de la TO est identique aussi : l'image $I(\vec{x})$ est représentée comme combinaison linéaire des ondelettes $\psi_{\vec{b},a,\theta}(\vec{x})$; autrement dit, $\{\psi_{\vec{b},a,\theta}\}$ joue le rôle de base continue.

(3) Propriétés de support en fonction de l'échelle :

- Pour $a \gg 1$, $\psi_{\vec{b},a,\theta}$ est une fenêtre large, centrée autour d'une basse fréquence : TO sensible aux basses fréquences
- Pour $a \ll 1$, $\psi_{\vec{b},a,\theta}$ est une fenêtre étroite, centrée autour d'une haute fréquence : TO sensible aux hautes fréquences

Il s'ensuit que la TO est la plus efficace aux hautes fréquences, c'est-à-dire à petite échelle, et donc, comme en dimension 1, la TO est un *détecteur de singularités*. En particulier, la TO est efficace pour détecter les arêtes. En effet, une arête est une *ligne* de maxima locaux, c'est-à-dire un objet singulier dans une image 2-D.

(4) La TO est très *redondante*, dès lors toute l'information est contenue dans un (petit) sous-ensemble. Il y a deux possibilités :

. Les *arêtes*, c'est-à-dire les lignes de maxima locaux, et le *squelette*, c'est-à-dire la restriction de la TO aux arêtes. La Figure 20 présente un exemple d'arêtes 2-D. Il s'agit de détecter des points brillants sur une image du Soleil (en fait, on a une simulation). Le panneau de gauche montre la région analysée, les points bleus simulent des points brillants. Dans le panneau de droite, les lignes verticales bleues sont les arêtes correspondantes (Antoine et al., 2004, Sec. 2.3.5).

. La restriction à un *sous-ensemble discret, un réseau* : l'intégrale dans la

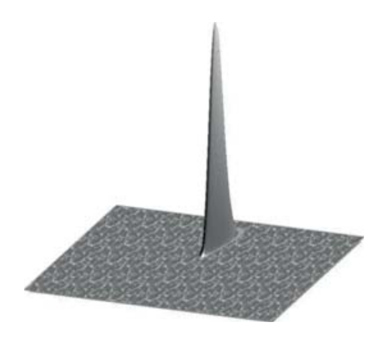


FIGURE 21 – Un exemple d'ondelette conique (Antoine et al., 2004, Sec. 3.3.4).

formule de reconstruction est remplacée par une somme discrète

$$I(\vec{x}) = \sum_{mjl} \psi_{\vec{b}_m,a_j,\theta_l}(\vec{x})\ W_\psi I(\vec{b}_m, a_j, \theta_l). \tag{6.5}$$

Les problèmes qui se posent sont familiers, choix du réseau de discrétisation et rapidité de la convergence du développement (6.5) : peut-on tronquer la somme après un petit nombre de termes ?

6.3. Choix de l'ondelette analysante

Un problème nouveau apparaît, celui du choix de l'ondelette analysante, car deux possibilités se présentent, selon le problème à traiter.

. *Les ondelettes isotropes*, c'est-à-dire *invariantes par rotation*, à utiliser pour une analyse point par point, sans distinguer de détails directionnels. Un exemple typique est le Chapeau mexicain 2-D isotrope présenté à la Figure 19 (gauche).

. *Les ondelettes directionnelles*, nécessaires pour détecter des détails directionnels (segments, arêtes, champ de vecteurs,...). Des exemple typiques sont l'ondelette de Morlet 2-D, présentée à la Figure 19 (droite) et, plus généralement les ondelettes coniques, c'est-à-dire des ondelettes dont le support en $\vec{k}$, la fréquence spatiale, est contenu dans un cône convexe avec sommet à l'origine. La Figure 21 en donne un exemple, l'ondelette Gaussienne conique.

La Figure 22 présente un exemple de filtrage directionnel avec une ondelette conique, une opération difficile pour la plupart des méthodes. Il s'agit de sélectionner tous les segments orientés horizontalement. Pour

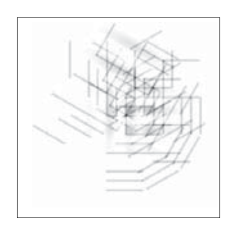
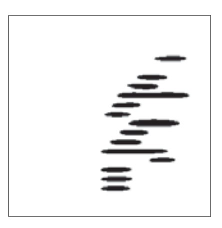
  

FIGURE 22 – Filtrage directionnel avec une ondelette conique :
(a) Le signal ; (b) La TO ; (c) La TO après seuillage
(Ali, Antoine & Gazeau, 2004, Sec. 14.3.2).

plus de clarté, on effectue un seuillage sur la TO, afin d'éliminer les traces résiduelles des autres segments.

6.4. La transformée en ondelettes discrète en dimension 2

Comme en dimension 1, une alternative à la TO continue est d'utiliser la TO discrète. Ici aussi, on exige d'emblée une *base orthonormale d'ondelettes*, et on dérive l'ondelette-mère d'une fonction d'échelle.

Le principe de base peut se traduire par la relation 2-D = 1-D $\otimes$ 1-D, c'est-à-dire qu'il n'y a rien de fondamentalement nouveau en passant de une à deux dimensions. On part d'une analyse multirésolution $\{V_j, j \in \mathbb{Z}\}$ de $L^2(\mathbb{R}, dt)$ et on construit une analyse multirésolution de $L^2(\mathbb{R}^2, d\vec{x})$ par produit tensoriel $\{\mathbf{V}_j = V_j \otimes V_j, j \in \mathbb{Z}\}$. Ceci entraîne qu'il faut *une* fonction d'échelle $\Phi(x, y) = \phi(x)\,\phi(y)$, mais *trois* ondelettes de base :

$$\begin{aligned} \Psi^h(x,y) &= \phi(x)\,\psi(y), \\ \Psi^v(x,y) &= \psi(x)\,\phi(y), \\ \Psi^d(x,y) &= \psi(x)\,\psi(y). \end{aligned} \tag{6.6}$$

L'ondelette Ψ^h détecte préférentiellement les détails additionnels horizontaux (c'est-à-dire les discontinuités dans la direction verticale), tandis que Ψ^v et Ψ^d détectent les détails verticaux et diagonaux, respectivement. Ce résultat se comprend aisément. Prenons la relation fondamentale (4.1) de l'analyse multirésolution 1-D pour $j = 0$, c'est-à-dire $V_1 = V_0 \oplus W_0$. Pas-

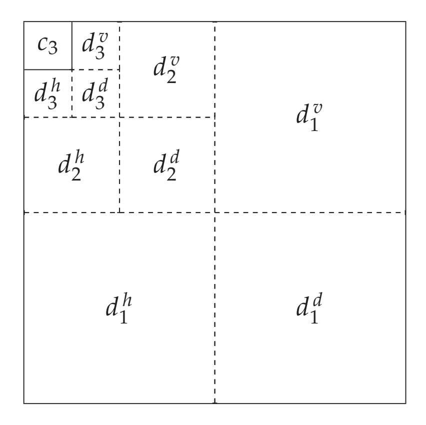


FIGURE 23 – Schéma de la décomposition sur 3 niveaux d'une image en une approximation à basse résolution, plus les détails de plus en plus fins, des trois types (h, v, d).

sant en 2-D et utilisant la distributivité du produit tensoriel, on obtient

$$\begin{aligned}
\mathbf{V}_1 &= V_1 \otimes V_1 \\
&= \big(V_0^{(x)} \oplus W_0^{(x)}\big) \otimes \big(V_0^{(y)} \oplus W_0^{(y)}\big) \\
&= \big(V_0^{(x)} \otimes V_0^{(y)}\big) \oplus \big(V_0^{(x)} \otimes W_0^{(y)}\big) \\
&\qquad\qquad \oplus \big(W_0^{(x)} \otimes V_0^{(y)}\big) \oplus \big(W_0^{(x)} \otimes W_0^{(x)}\big) \\
&= \mathbf{V}_0 \oplus \mathbf{W}_0^h \oplus \mathbf{W}_0^v \oplus \mathbf{W}_0^d \\
&= \mathbf{V}_0 \oplus \mathbf{W}_0.
\end{aligned}$$

Choisissant les fonctions de base $\phi \in V_0$ et $\psi \in W_0$, on retrouve bien la fonction d'échelle Φ et les trois ondelettes (6.6). Une telle approche est simple et naturelle, mais le choix de coordonnées cartésiennes (x, y) va mener à des difficultés en présence de courbes ou d'aspects directionnels.

D'après (6.6), le schéma typique d'une analyse d'image sera sa décomposition en approximation grossière plus les détails horizontaux, verticaux et obliques (Figure 23). Un exemple classique est présenté à la Figure 24. Le carré en haut à gauche est l'approximation de base, et de proche en proche, on trouve les détails additionnels des trois types, sur chacun des trois niveaux de résolution.

Si l'on compare la TO continue et la TO discrète, on constate que les deux méthodes ont des philosophies diamétralement opposées et des propriétés différentes, elles auront donc des applications différentes. La *TO*

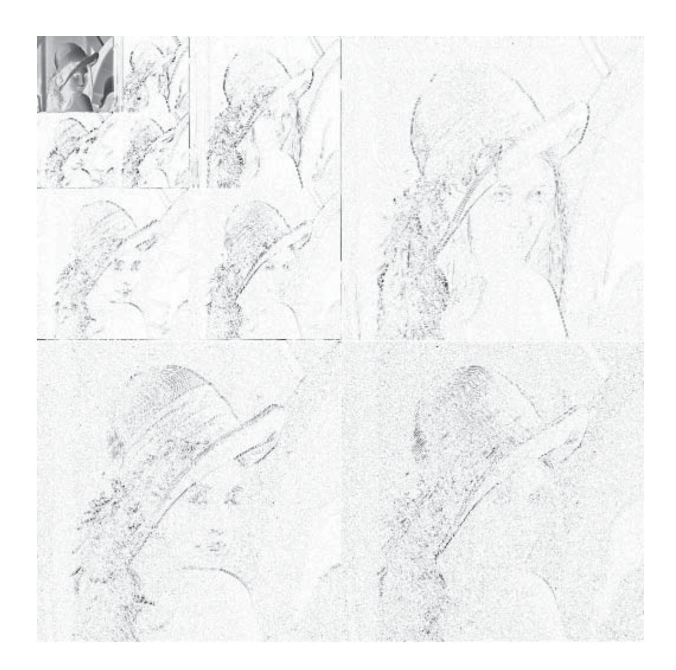


FIGURE 24 – Décomposition typique d'une image sur 3 niveaux.

continue est efficace pour l'analyse des images, la détection d'éléments caractéristiques (p. ex. pour les opérations de surveillance (monitoring)). Par contre, la *TO discrète* sera privilégiée pour la compression en vue de la transmission ((HD)TV, satellites) ou le débruitage.

En termes de *redondance*, la différence est cruciale aussi. La TO continue est très redondante, ce qui lui assure stabilité et résistance au bruit. La TO discrète n'est pas redondante, ce qui garantit une indépendance statistique optimale des coefficients ; elle offrira un excellent taux de compression.

7. Applications de la transformée en ondelettes en dimension 2

La TO bidimensionnelle a une multitude d'applications, dans tous les domaines, tant en traitement d'images que dans différents problèmes de physique ou d'ingénierie. Nous en citons-en quelques unes ci-dessous. On trouvera une description beaucoup plus complète dans (Antoine et al.,

2004), ainsi que dans ceux de van den Berg (1998) et de Jaffard, Meyer & Ryan (2001).

7.1. Applications de la TO continue bidimensionnelle en traitement d'images

Parmi les nombreuses applications de la TO continue en traitement d'images, on peut citer :

. *Détection de contours, reconnaissance de caractères :* détection de bord, de contours, de coins ... ; une application possible est la lecture optique.

. *Détection et reconnaissance d'objets dans des images bruitées :* reconnaissance automatique de cibles (ATR), application à l'imagerie radar infra-rouge, basée sur la détection de détails caractéristiques tant en position qu'en échelle-angle.

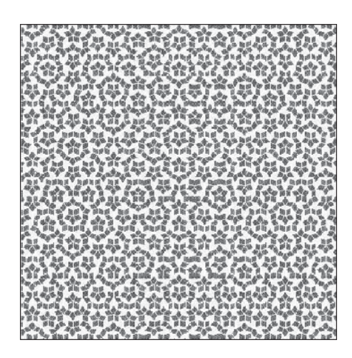
. *Récupération d'images :* reconnaissance d'une image particulière dans une grande banque de données, caractérisation d'images par des détails caractéristiques ; un exemple est la reconnaissance des empreintes digitales par le FBI.

. *Imagerie médicale et biomédicale :* les images médicales sont souvent floues, avec peu de contraste, et requièrent de pouvoir analyser les objets à différentes échelles et de bien caractériser leur contour, si bien que la TO continue bidimensionnelle est tout indiquée. Elle sera entre autres utilisée pour l'amélioration du contraste, la segmentation ou l'identification de la région d'intérêt. On la trouvera notamment dans l'imagerie en résonance magnétique (MRI), en mammographie et en biologie, par exemple, dans l'étude de la morphologie des cellules (p. ex. cellules sanguines : distinction entre leukocytes et erythrocytes (Chen et al., 2007). De plus les objets d'intérêt ont en général une structure fractale, ce qui suggère le formalisme thermodynamique mentionné dans la Section 7.2.

. *Détection de symétries dans des motifs bidimensionnels :* détection de symétries d'inflation discrète (rotation + dilatation) dans les quasicristaux (mathématiques et réels) ou les ensembles quasipériodiques de points. A titre d'exemple, la Figure 25 montre l'analyse d'un pavage de Penrose à l'aide d'une ondelette conique. L'outil est le spectre échelle-angle de l'image, défini comme l'intégrale sur les translations du carré du module de la TO :

$$\mathsf{M}[s](a,\theta) = \int_{\mathbb{R}^2} |S(\vec{b},a,\theta)|^2 \, d\vec{b}.$$

On intègre sur toutes les positions, étant donné que le pavage n'est pas invariant par translation, même discrète. Le résultat est que ce pavage,



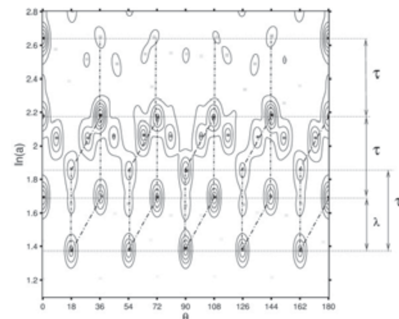


FIGURE 25 – Détection de symétries discrètes par la TO continue : (à gauche) Un pavage de Penrose ; (à droite) Le spectre échelle-angle correspondant $\mathsf{M}[s](a, \theta)$, obtenu avec une ondelette conique. Les maxima homologues sont reliés par un trait interrompu.

représenté dans la panneau de gauche, possède une symétrie de rotation d'angle $\pi/5$, une symétrie sous dilatation d'un facteur $\tau = 2\cos(\pi/5) = \frac{1}{2}(1+\sqrt{5})$, le nombre d'or, et une symétrie mixte (inflation), combinant une rotation d'angle $\pi/10$ avec une dilatation d'un facteur $\lambda = 1.36$. Il en résulte que le spectre échelle-angle de ce pavage est une fonction doublement périodique en θ et $\ln a$, comme on peut le constater sur la figure.

. *Débruitage d'images :* élimination du bruit dans des images à l'aide d'ondelettes directionnelles ; un exemple a été donné à la Figure 5.

. *Tatouage d'images (watermarking) :* ajout d'une signature robuste, mais invisible, dans les images (p. ex. avec des ondelettes directionnelles).

7.2. Applications de la TO continue bidimensionnelle en physique

. *Astronomie et astrophysique :* détection de détails caractéristiques dans les images du Soleil, détection de sources gamma dans l'Univers, structure de l'Univers, analyse du rayonnement cosmique micro-ondes résiduel (CMB) et, en particulier, le caractère gaussien ou non de ses fluctuations. Ce dernier point est un sujet brûlant, et l'outil standard des astrophysiciens est la TO sphérique mentionnée ci-dessous (Marinucci et al., 2008).

. *Géophysique :* détection de failles en géologie, séismologie, climatologie (détection de cyclones, par exemple).

. *Dynamique des fluides :* détection de structures cohérentes dans les fluides

turbulents, mesure du champ de vitesse d'un fluide, démêlage d'un train d'ondes acoustiques sous-marin.

. *Fractales et formalisme thermodynamique :* analyse de fractales bidimensionnelles par la méthode du Maximum de module (méthode WTMM), détermination de la dimension fractale, découverte de lois universelles, reconnaissance de forme et classification de motifs.

. *Analyse de textures :* classification de textures, problème de la reconnaissance de forme à partir de la texture ("Shape from texture" problem).

7.3. Applications de la TO discrète bidimensionnelle

Alors que la TO discrète en dimension 1 a de nombreuses applications en mathématiques pures (espaces fonctionnels, approximation de fonctions, bases inconditionnelles, etc), la TO discrète bidimensionnelle est principalement utilisée en traitement d'images, en particulier pour le débruitage et la compression des images en vue de leur transmission. Par exemple, le code de compression standard JPEG2000 est basé sur les ondelettes orthogonales. Il en va de même pour la compression de séquences vidéo, p. ex. avec le code MPEG4.

8. Extensions et perspectives

La TO continue se généralise sans difficulté en dimension 3, voire $n > 3$, mais peu d'applications ont été développées. Par contre, la généralisation de la TO continue à la sphère est du plus haut intérêt. Du point de vue mathématique, il s'agit d'un bel exemple d'application de la théorie des groupes, que l'on peut ensuite court-circuiter en invoquant des arguments géométriques. L'idée est de construire la TO sur la sphère en transportant, par projection stéréographique inverse, la TO continue sur le plan tangent au Pôle Nord. Les applications de cette TO sphérique concernent la géographie, mais surtout la cosmologie, par l'étude du rayonnement fossile (Cosmic Microwave Background) [23] qui apporte de précieux renseignements sur la structure et l'histoire de l'Univers (d'où le titre de cet article...). Une extension ultérieure est la construction d'une TO sur des variétés plus générales, telles qu'un hyperboloïde à deux nappes ou un paraboloïde. Différentes applications demandent de telles ondelettes, notamment en optique (procédé d'imagerie dit 'catadioptrique').

Quant à la TO discrète, elle aussi a connu des généralisations intéressantes. On constate en effet que la TO discrète classique est bien adaptée à l'analyse de singularités ponctuelles, mais très mal à des lignes droites ou

courbes, qui sont des objets unidimensionnels plongés dans un univers bidimensionnel. L'idée est alors de remplacer les ondelettes définies dans les "carrés dyadiques", de côté 2^{-j}, par des "objets" allongés, permettant une analyse plus efficace des droites ("ridgelets") et des courbes ("curvelets").

Plus ambitieuse est la théorie des "shearlets", introduite par Kutyniok et ses collaborateurs (Kutyniok & Labate, eds., 2012). L'idée est simplement de remplacer les rotations inhérentes à la TO continue bidimensionnelle par des opérations de cisaillement. Plus précisément, on remplace la matrice de rotation $r_{-\theta}$ dans la relation (6.2) par le produit des deux matrices suivantes :

$$A_a = \begin{pmatrix} a & 0 \\ 0 & \sqrt{a} \end{pmatrix}, \quad S_s = \begin{pmatrix} 1 & s \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, \tag{8.1}$$

où la matrice A_a effectue une dilatation parabolique et la matrice S_s est une opération de cisaillement. Ceci permet d'obtenir des transformations directionnelles. Au même titre que la TO continue, cette transformation découle d'un groupe de Lie, appelé le "shearlet group". Elle peut ensuite être discrétisée, ce qui mène à une transformation qui généralise la TO discrète bidimensionnelle et qui s'avère être très puissante.

Enfin, le thème à la mode est "Au-delà des ondelettes". On constate en effet que les ondelettes ne sont pas la panacée universelle, il y a des "atomes" (signaux élémentaires) qui sont plus adaptés, par exemple pour la description des textures. L'idée est alors d'utiliser des "dictionnaires" plus vastes, contenant aussi bien des ondelettes que d'autres atomes, et de chercher à représenter des images de la façon la plus économique possible (avec des matrices très creuses : c'est le concept de "sparsity"). Une étape suivante est de représenter simultanément des signaux de nature différente, par exemple une séquence vidéo *et* la bande audio correspondante : c'est tout le monde du multimédia qui s'ouvre.

9. Ondelettes et états cohérents

Les états cohérents sont les états quantiques les plus proches du monde classique. Entre autres, ils saturent les relations d'incertitude de Heisenberg. Introduits originellement par Schrödinger en 1926, mais rapidement oubliés, ils furent redécouverts dans les années 60 par Glauber, Klauder et Sudarshan, pour décrire l'état d'un faisceau de lumière cohérent, c'est-à-dire un laser. Ces états cohérents, dits canoniques, ont naturellement joué un rôle important en optique quantique. Un peu plus tard, Perelomov et Gilmore, indépendamment, montrèrent que les états cohérents peuvent être dérivés d'une représentation de groupe (dite de carré intégrable). Et

précisément, si on prend le groupe affine de la droite $\mathbb{R}$, constitué des translations et des dilatations (groupe "$ax + b$"), on obtient exactement la TO continue en 1-D décrite dans la Section 3.3. De même, si on prend le groupe des similitudes du plan $\mathbb{R}^2$, formé des translations, rotations et dilatations et décrit dans l'équation (6.4), on retrouve la TO continue en bidimensionnelle, analysée dans la Section 6. Le formalisme est très général, ainsi le groupe de Weyl-Heisenberg donne la transformée de Gabor (Section 3.3), le "shearlet group" fournit les shearlets (Kutyniok & Labate, eds., 2012). Ces états cohérents, dits covariants, peuvent à leur tour être généralisés, sans plus faire référence à une représentation de groupe. Ils constituent aujourd'hui un vaste domaine à la fois en physique et en mathématique, qui fait l'objet d'une intense activité de recherche. On trouvera une discussion exhaustive et les références aux articles originaux dans l'ouvrage de Gazeau (2009) ou dans les nôtres (Antoine et al., 2004 ; Ali, Antoine & Gazeau, 2014).

10. Quelques remarques historiques et bibliographiques

A l'issue de ce tour d'horizon, il n'est pas inutile de revenir sur les débuts et de décrire en quelques mots la manière dont la théorie s'est constituée. On trouvera plus de détails dans l'ouvrage de Barbara Hubbard (1995, 1998), ainsi que dans l'introduction au Chapitre 2 de (Heil & Walnut, 2006). Au départ, en 1984, le géophysicien Jean Morlet analysait des données microsismiques dans le contexte de l'exploration pétrolière. La technique traditionnelle consiste à envoyer dans le sol de courtes impulsions (appelées 'ondelettes' par les géophysiciens) et à analyser les signaux obtenus par réflexion sur les discontinuités de densité. Ces signaux sont en général confus et difficiles à interpréter, même avec la transformée de Fourier à fenêtre (ou de Gabor) décrite brièvement dans la Section 3.3. Morlet eut alors l'idée de permuter les rôles dans la transformée : au lieu d'une fenêtre fixe contenant un nombre variable d'oscillations, il choisit un nombre fixe d'oscillations dans une fenêtre de longueur variable. Il baptisa le signal obtenu 'ondelette de forme constante'. Cette méthode fournit de bien meilleurs résultats, mais Morlet ne comprenait pas pourquoi. Sur le conseil d'un collègue, il s'adressa à un physicien de Marseille appelé Alex Grossmann. Après une année de travail conjoint, Morlet et Grossmann découvrirent la raison du succès (Grossmann & Morlet, 1984 ; Grossmann, Morlet & Paul, 1985) : une fois de plus, la théorie des groupes expliquait le mécanisme. Celui-ci était connu dans le contexte des états quasi-classiques de l'oscillateur harmonique (états 'cohérents', à la base de la description quantique du laser), décrits dans la Section 9. D'autres auteurs se

joignirent au jeu, principalement Thierry Paul, Ingrid Daubechies et Yves Meyer, un analyste renommé de l'Ecole Polytechnique. Un peu plus tard, ce dernier découvrit avec Stéphane Mallat le concept de multirésolution (Mallat, 1989), qui mit les ondelettes en contact avec le monde du traitement du signal, sous la forme de la TO discrète décrite dans la Section 4, et la théorie décolla.

Quant à la TO en dimension 2, l'histoire est quelque peu différente. Mallat fut le premier à l'envisager, sous la forme discrète (Section 6.4). En ce qui concerne la TO continue, on retrouve Alex Grossmann. Durant l'année 1987, ce dernier nous rendait visite à l'UCL, à Louvain-la-Neuve, et nous cherchions un sujet de thèse pour un jeune étudiant rwandais nommé Romain Murenzi. Il nous vint l'idée d'essayer de réaliser en dimension 2 ce qui avait tant de succès en dimension 1, l'analyse en ondelettes. Mais comment attaquer le problème ? Durant l'été, Murenzi descendit à Marseille, où se trouvait aussi Ingrid Daubechies. A son retour à LLN, il ramenait la solution. Il suffisait de partir des opérations que l'on veut appliquer à une image et de mettre en route la machinerie de la théorie des groupes découverte en dimension 1. Cette fois, il s'agissait de translations, de rotations et de dilatations, comme nous l'avons vu plus haut, et la machine fonctionne ! Le résultat est non seulement la TO continue en dimension 2, mais un principe général permettant l'extension de la TO aux autres géométries décrites ci-dessus, comme indiqué dans la Section 9.

Pour terminer, donnons quelques indications bibliographiques. Pour le novice, la meilleure introduction est le petit livre de Barbara Hubbard (1995, 1998). Ensuite il y a les traités classiques de Daubechies (1992), Mallat (2009), Torrésani (1995), et beaucoup d'autres, tantôt à dominante mathématique, tantôt avec une approche "ingénieur'" orientée vers le traitement du signal. Plus spécifiquement pour la TO en dimension 2 et ses extensions, nous renvoyons à notre ouvrage (Antoine et al., 2004). Enfin, pour le lecteur qui désire consulter les papiers originaux, la compilation Heil & Walnut, 2006) est un outil incontournable.

En guise de conclusion, on peut dire que la théorie des ondelettes est un exemple particulièrement réussi de fertilisation croisée entre mathématiques, mécanique quantique (l'idée de sonde, états cohérents) et traitement du signal. Les applications concrètes en sont innombrables et extrêmement variées. A titre d'indication, il est symptomatique que le Wavelet Digest, le bulletin d'information de la communauté ondelettes, actif de 1992 à 2012, était consulté régulièrement par plus de 14.000 lecteurs ! On le trouvera à l'adresse suivante : <http ://www.wavelet.org/>.

Remerciements

C. Cossement, D. Roşca et D. Lambert ont bien voulu relire intégralement le manuscrit de cet article. Leurs commentaires et/ou critiques constructives ont considérablement amélioré le texte sur le plan de la rigueur, de la cohérence et de la pédagogie, je les en remercie tous trois chaleureusement. Je remercie également deux des referees pour la même raison, ainsi que J-F. Stoffel pour la minutie de ses commentaires qui ont permis de traduire mon style LaTeX en celui de la Revue !

Bibliographie

[1] Abbott, B.P. et al. (2016). Observation of gravitational waves from a binary black hole merger, *Physical Review Letters* **116**, 061102.

[2] Abbott, B.P. et al. (2017). GW170817 : Observation of gravitational waves from a binary neutron star inspiral, *Physical Review Letters* **119**, 161101.

[3] Ali, S.T., Antoine, J-P., & Gazeau, J-P. (2014). *Coherent States, Wavelets, and Their Generalizations*, 2nd ed., Springer, New York et al..

[4] Antoine, J-P., Murenzi, R., Vandergheynst, P., & Ali, S.T. (2004). *Two-dimensional Wavelets and Their Relatives*, Cambridge University Press, Cambridge (UK).

[5] Antoine, J-P. (2007). L'analyse en ondelettes — De la recherche pétrolière aux reliques du Big Bang, *Revue des Questions Scientifiques* **178**, 367–410.

[6] Arnéodo, A., Argoul, F., Bacry, E., Elezgaray, J., & Muzy, J.F. (1995). *Ondelettes, multifractales et turbulences – De l'ADN aux croissances cristallines*, Diderot, Paris.

[7] Arnéodo, A., d'Aubenton, Y., Bacry, E., Graves, P.V., Muzy, J.F., & Thermes, C. (1996). Wavelet based fractal analysis of DNA sequences, *Physica D* **96**, 291–320.

[8] Bartos, I. (2018). A new cosmic messenger, *Phys. World* **31**, 23–26.

[9] Burke Hubbard, B. (1995) *Ondes et ondelettes – La saga d'un outil mathématique*, Pour la Science, Belin, Paris ;
Engl. version, Burke Hubbard, B. (1998). *The World According to Wavelets*, (1998). 2nd ed., A.K. Peters, Wellesley, MA.

[10] Chen, Q., Fan, Y., Udpa, L.., & Ayres, V.M. (2007). Cell classification by moments and continuous wavelet transform methods, *Int. J. Nanomedicine* Jun, 2(2), 181–189.

[11] Daubechies, I. (1992). *Ten Lectures on Wavelets*, SIAM, Philadelphia, PA.

[12] Delprat, N., Escudié, B., Guillemain, Ph., Kronland-Martinet, R., Tchamitchian, Ph., & Torrésani, B. (1992). Asymptotic wavelet and Gabor analysis : Extraction of instantaneous frequencies, *IEEE Trans. Inform. Theory,* **38**, 644–664.

[13] Gabor, D. (1946). Theory of communication, *J. Inst. Electr. Engrg.(London)* **93**, 429–457.

[14] Gazeau, J-P. (2009). *Coherent States in Quantum Physics*, Wiley-VCH, Berlin.

[15] Grossmann, A. & Morlet, J. (1984). Decomposition of Hardy functions into square integrable wavelets of constant shape, *SIAM J. Math. Anal.* **15**, 723–736.

[16] Grossmann, A., Morlet, J., & Paul, T. (1985). Integral transforms associated to square integrable representations. I. General results, *J. Math. Phys.* **26**, 2473–2479.

[17] Grossmann, A. et Torrésani, B. (2006). Article "Les ondelettes" dans l'Encyclopaedia Universalis (version 2006 ou ultérieure).

[18] Heil, C., & Walnut, D.F., eds. (2006) , *Fundamental Papers in Wavelet Theory*, Princeton University Press, Princeton, NJ, and Oxford.

[19] Jaffard, S., Meyer, Y., & Ryan, R.D. (2001). *Wavelets, Tools for Science & Technology*, SIAM, Philadelphia, PA.

[20] Kutyniok, G., & Labate, D., eds. (2012). *Shearlets – Multiscale Analysis for Multivariate Data*, Birkhäuser, New York et al..

[21] Mallat, S.G. (1989). A theory for multiresolution signal decomposition : the wavelet representation, *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.* **11**, 674–693.

[22] Mallat, S.G. (2009). *A Wavelet Tour of Signal Processing – The Sparse Way*, 3nd ed., Academic Press, Burlington, MA, 2009.

[23] Marinucci, D., Pietrobon, D., Baldi, A., Baldi, P., Cabella, P., Kerkyacharian, G., Natoli, P., Picard, D., & Vittorio, N. (2008). Spherical needlets for CMB data analysis, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **383**, 539–545.

[24] Marr, D. (1982). *Vision*, Freeman, San Francisco.

[25] Suvichakorn, A., Lemke, C., Schuck Jr., A., & Antoine, J-P. (2011). The Continuous Wavelet Transform in MRS, Tutorial text, *Marie Curie Research Training Network FAST* (2011) `http://www.fast-mariecurie-rtn-project.eu/#Wavelet`.

[26] Sweldens, W. (1996). The lifting scheme : a custom-design construction of biorthogonal wavelets, *Appl. Comput. Harmon. Anal.*, **3**, 1186–1200 ;
Sweldens, W. (1998). The lifting scheme : a construction of second generation wavelets, *SIAM J. Math. Anal.*, **29**, 511–546.

[27] Torrésani, B. (1995). *Analyse continue par ondelettes*, Inter-Éditions/CNRS Éditions, Paris.

[28] van den Berg, J.C., ed. (1998). *Wavelets in Physics*, Cambridge Univ. Press, Cambridge.

[29] Vandergheynst, P., Antoine, J-P., Van Vyve, E., Goldberg, A., & Doghri, I. (2001). Modelling and simulation of an impact test using wavelets, analytical and finite element models, *International J. of Solids and Structures* **38**, 5481–5508.

Revue des Questions Scientifiques, 2018, 189 (1-2) : 51-100

Du réflexe au désir

Pour une archéologie du sens

Jacques Gervet
Ex-Directeur de recherches au CNRS
jacques.gervet@wanadoo.fr

Résumé. – La continuité évolutive des espèces animales comporte un certain nombre de ruptures dans les modes de régulation du comportement; des réactions taxiques les plus simples aux conduites instinctives puis aux conduites plus complexes, on note un passage de réponses automatiques à des formes impliquant des modalités de traitement d'images que l'on peut décrire sous une forme computationnelle. Le passage à un fonctionnement humain implique une rupture, plus radicale encore, marquant un passage de l'image au symbole, et de la confrontation d'images au traitement logique de perceptions et de concepts. Les conduites humaines se caractérisent par l'emploi de formes symboliques tant dans les relations interpersonnelles (Langue) que dans les régulations institutionnelles. De telles conduites n'ont pu être relevées avec certitude chez aucun Primate préhumain. On tente de suivre leur formation dans l'apparition de l'activité constructrice d'outils (par le passage du jet de pierre à la taille d'outils lithiques) et dans la transition du cri, diversement modulé, à la Langue doublement articulée de l'Humain, capable d'activité référentielle. On recherche chez l'Humain à la fois ce qui marque cette longue ascendance et ce qui spécifie la rupture. Ces deux aspects, inséparables, appellent pourtant des modes d'approche différents et complémentaires.

Abstract. – The evolutionary continuity of animal species includes a number of ruptures with respect to the mechanisms of behavioural control; from the simplest taxic responses to instinctive behaviour and up to more complex behaviours, there is a transition from automatic reactions towards kinds involving image processing modalities that can be expressed in computational form. The shift to human functioning constitutes an even greater breach, marking a transition from the image to the symbol, and from merely managing images to the logical processing of perceptions and concepts. Human behaviour is characterised by the use of symbolic forms both in interpersonal relationships (language) and in institutional regulations. Such behaviour has not been clearly identified in any pre-human Primates. We attempt to trace their education in the advent of constructive tool-making activities (through the shift from stone-throwing to the fashioning of lithic tools) and in the transition from the cry, modulated differently, to the double-articulated language of Humans, capable of displaced reference. In Humans we seek both

that which marks this lengthy ancestry, as well as that which determines the rift. These two aspects, albeit inseparable, call for different yet complementary approaches.

Plan de l'article

Introduction

Un vecteur a un sens, défini le long d'une direction ; un énoncé verbal a un sens, que son destinataire est censé comprendre, et aussi les témoins de l'échange s'ils connaissent le code utilisé et le contexte de son utilisation ; une thèse théorique a un sens, dont divers critères peuvent éprouver la validité, éventuellement éprouvée par une pratique rationnelle ; une conduite animale a un sens qui, selon les éthologistes, équivaut à sa fonction. La continuité évolutive du monde animal invite à interroger la signification de cette pluralité d'acceptions dans ses diverses formes.

L'étude des communications appelle aussi à une clarification : du simple indice au signe conventionnel, la linguistique saussurienne (Saussure, 1976) a su distinguer des degrés dans le caractère intentionnel de l'émission du message. Mais, de façon complémentaire, une pragmatique de l'échange selon Peirce (1978) vise à dégager des termes fonctionnels qui lui semblent mieux adaptés à une démarche objective. Cet auteur a ainsi su distinguer des degrés, à la fois dans le contenu du message transmis, dans la finalité de son émission et dans ses effets sur le destinataire, alors qualifié d'interprétant.

La priméité indique un phénomène par sa seule présence, sans émission intentionnelle distincte, comme la trace d'un pas sur la neige ou le gémisse-

ment d'un blessé : il revient alors à l'interprétant de le considérer comme le symptôme d'un état des choses et d'y réagir selon son projet propre.

La secondéité implique le renvoi intentionnel à un objet et l'interprétant a, par le message, un accès direct à sa désignation, sans expérience directe de l'objet désigné : le mot « chien » n'aboie ni ne mord… mais, clairement énoncé, comme « attention au chien », il peut être compris par son destinataire et le protéger d'une morsure. Un appel, une menace, une alarme relèvent de cette modalité.

La tiercéité désigne la médiation par laquelle un émetteur adresse intentionnellement à un destinataire un signal représentatif d'un objet. Et cette désignation le constitue en un signe ou un symbole. Le signe transmis n'a rapport à l'objet qu'à travers une relation codée de « référence » et son utilisation par l'interprétant implique la maîtrise d'un code, constitué en un « lexique » des modes de désignation admis. La tiercéité est la catégorie humaine de la pensée, de la Langue, de la transmission sociale et de toute vie intellectuelle.

L'évolution biologique est de nature historique et s'est déroulée sur quatre milliards d'années jusqu'à la situation actuelle. Son déroulement marque-t-il un sens le long d'une direction privilégiée, ou indique-t-il une suite aléatoire ? Ou ce sens est-il celui d'un message ? Et alors, comportant quel contenu ? Et lisible par quel interprétant ?

Les théoriciens de l'évolution ont tenté diverses réponses. Selon Lamarck, l'évolution intègre des acquis individuels et tend vers une complexité croissante, dont l'espèce humaine représente le terme provisoire, sans suggérer de terme ultime. Darwin (1859/1882 et 1871/1981), et après lui tous les évolutionnistes contemporains (Tort, 1996), récusent tout parcours privilégié et limitent leur projet à la recherche d'explications causalistes qui se ramènent à la sélection naturelle d'êtres biologiques reproductibles, dans des environnements eux-mêmes soumis à des transformations constantes. Tout en reconnaissant les spécificités de l'espèce humaine, ils se refusent à attribuer son origine à un mécanisme distinct de celui des autres espèces.

Mais ce sont des Humains qui s'interrogent aujourd'hui sur les mécanismes qui ont conduit à leur apparition. Plus qu'à quelque histoire générale d'une vie qui leur serait étrangère, c'est à leur propre ascendance qu'ils s'intéressent et aux traces ancestrales qui continuent à les marquer. Plus qu'une histoire naturelle, attachée au mécanisme évolutif d'une série déterministe d'objets naturels, c'est une archéologie de leur propre savoir qu'ils visent à

établir, cherchant notamment à éclairer la question que pose leur triple accès à un sens moral, à des raisonnements argumentés et à des institutions symboliques. Ces traits étant liés à l'acquisition d'un langage articulé, capable de transmettre des idées générales, la question de l'origine de la Langue prend une importance décisive, comme liée à l'émergence d'une pensée rationnelle et d'un sens éthique.

Si le mécanisme de cette transition est globalement rapporté par Darwin, puis ses successeurs, à l'effet de la sélection naturelle, son élucidation n'est guère envisageable aujourd'hui que grâce aux découvertes ultérieures des généticiens du siècle suivant et des sociologues attachées à la formation d'un monde culturel.

Une telle recherche « archéologique » des phases préparatoires, comme celles de Nietzsche pour une « généalogie de la morale » — « ma curiosité et mon soupçon », écrit-il, « devaient s'arrêter de bonne heure à l'occasion de l'origine véritable des notions de bien et de mal » (Nietzsche, 1887/1980, p. 117) — ou de Foucault pour une « archéologie du savoir », part d'une référence à un constat présent pour pointer l'origine de ses divers aspects constitutifs. Elle constitue donc une recherche *top-down*, attachée à l'élucidation des diverses ruptures et à relever « dans quel tableau à chronologie large, marquée par une discontinuité causale, peut-on déterminer des suites distinctes d'événements ? » (Foucault, 1969/2015, p. 7). Cette élucidation se montre alors distincte d'une recherche plus proprement historique, attachée à expliquer la continuité ininterrompue des évènements, selon une démarche *bottom-up*.

La radicalité de la rupture Animal-Humain est très différemment appréciée d'un auteur à l'autre, selon notamment les critères qu'ils utilisent et la part d'analogie dont ils assument l'utilisation. Nombre d'auteurs contemporains (de Waal, 1990 ; Lestel, 2010) ont insisté sur la continuité évolutive en évoquant une culture animale comparable à la culture humaine. D'autres auteurs (Vidal, 1992, 2011) ont symétriquement insisté sur la radicalité qualitative que représente, dans une série évolutive continue, la rupture de l'hominisation. Exprimant la genèse d'une espèce ayant accès à la Langue, à la morale et à la rationalité, elle marque un changement à tel point radical que les autres similitudes n'ont valeur qu'analogique, sans concerner le mécanisme causal qui pourrait seul justifier une homologie.

Depuis lors, les débats n'ont pas cessé entre ceux qui insistent sur l'indiscutable continuité évolutive et voient ainsi chez les grands Singes, quelque

espèce sœur, partageant nombre de traits avec notre humanité, et ceux qui insistent sur le caractère radical des césures, marquant en dernière analyse le passage d'un animal-machine, renouvelé des cartésiens et aujourd'hui largement pensé selon un modèle robotique, à l'être raisonnable en lequel chacun se plait à se reconnaître.

Continuité et rupture sont pourtant également avérées, et l'insistance sur l'un ou l'autre aspect reflète surtout un choix, théorique et méthodologique, qui n'est d'ailleurs pas sans enjeu. Utilisant respectivement des analyses selon un modèle explicatif-causaliste ou compréhensif des attentes personnelles, privilégiant respectivement, dans leur projet explicatif, soit un point d'arrivée (l'émergence des caractéristiques humaines) soit un point de départ (le fonctionnement déterministe d'un mode d'organisation biologique), l'approche diachronique vise à privilégier soit quelque archéologie du savoir humain, soit la succession déterministe d'êtres biologiques reproductibles, placés dans un rapport obligé avec leur environnement matériel.

Le statut et les enjeux de cette différence sont complexes : les chercheurs qui privilégient la radicalité d'une rupture s'attachent à souligner les points de discontinuité et refusent d'utiliser, dans le monde animal, des concepts qui, selon eux, ne vaudraient que pour des Humains, toute autre ressemblance n'étant que convergence écologique sans signification généalogique. Par contre, ceux qui privilégient la continuité évolutive peuvent développer soit une attitude réductionniste ramenant tout phénomène à des facteurs causaux simples, identiques dans l'ensemble du monde vivant, soit l'importance heuristique de la confrontation des conduites animales et des processus analogues connus chez les Humains : on parle alors de « guerres » animales, de « politique du chimpanzé », de « compassion », voire de « cultures » animales, appelant à une attitude herméneutique, attachée à la fois à leur attribuer une certaine intentionnalité et à en expliquer les conditions de réalisation. Les tenants de la rupture sont alors mis au défi de rendre compte de cette apparition dans un monde globalement gouverné par la nécessité. Le concept d'émergence pointe cette rupture, mais ne suffit pas à en expliquer le mécanisme.

Continuité et rupture sont pourtant également constats effectifs : il convient donc à la fois de relever les phases de cette évolution et d'évaluer ce qui en peut subsister chez l'Humain au terme du processus évolutif.

Longtemps les chercheurs les plus réductionnistes ont cru se conformer aux exigences scientifiques en réduisant tout phénomène à ses déterminants

objectifs les plus élémentaires, voire aux mécanismes biochimiques. D'autres insistent pourtant sur la valeur authentiquement explicative de processus causaux, distinctement développés aux divers niveaux d'analyse, mais toujours conformément à une logique démonstrative. Le développement d'une psychologie behavioriste depuis la fin du XIX[e] siècle a établi, en base de toute explication, le comportement vu comme réponse impérative à un stimulus simple. Le terme présente le double avantage d'être directement observable et de constituer un élément causal possible pour toute étude à ambition scientifique. La démarche « néo-behavioriste » peut donner alors un sens objectif à des sciences « cognitives » en présentant la connaissance selon le modèle formel d'une machine « calculante » fonctionnant selon un algorithme combinatoire suffisamment efficace.

La diversité des disciplines actuelles exige pourtant en fait une pluralité de niveaux d'explication, mais elle ne peut que s'inscrire aussi dans l'évidence d'une continuité évolutive de l'objet d'étude et s'interroger alors sur le mode explicatif qui devra être utilisé pour les diverses formes marquant l'évolution du vivant, voire pour la transition de l'une à l'autre. Il convient donc à la fois de caractériser les divers niveaux de phénomène, d'analyser les processus causaux correspondants, et d'évaluer les mécanismes évolutifs qui peuvent expliquer la transition d'un niveau à un autre.

À bien des égards, certes, l'être humain présente aussi des originalités notables : il représente fondamentalement un *animal symbolicum* (Cassirer, 1944/1988), attaché à l'utilisation d'un vocabulaire chargé de sens. Le réglage des conduites ou des institutions humaines n'est pas réductible à l'automatisme collectif qui règle le comportement et les sociétés de nombre d'espèces animales et l'anthropologue vise aussi à « comprendre » ce que les zoologistes ne visent qu'à « expliquer » selon les modèles causaux dont ils disposent. L'explicitation de la transition vers l'Humain implique la reconnaissance préalable de ces spécificités et la caractérisation d'une rupture qui ne soit pas réductible aux différences anatomophysiologiques, même si celles-ci forment un substrat fondateur nécessaire et capable d'expliquer physiologiquement « pourquoi les chimpanzés ne parlent pas » (Cohen L., 2009).

Dans une perspective archéologique, la première exigence est de circonscrire les divers aspects de l'objet dont on cherche à expliquer l'origine et donc, dans le cas présent, les caractéristiques pertinentes de l'existence humaine. Qu'est-ce donc qu'être Humain pour qui vit cette expérience ? Qu'est-il possible à un autre Humain d'en dire ? Quelles formulations utiliser pour pointer ces vécus successifs. Une utilisation substantive des termes

pronominaux (le moi, le toi…) pose de nouveaux objets dont la signification subjective est claire, mais dont l'apparition doit être questionnée.

La première évidence qui s'impose à chaque être humain (et elle ne saurait être négligée) est « l'évidence d'être », dont la forme première la plus indiscutable est celle de la sensation somesthésique, éventuellement douloureuse, et donc de son statut potentiel d'être souffrant. Plus immédiate que celle du *Cogito* s'impose l'évidence d'un *Patior ergo sum*, que je ne puis réduire à quelque constat objectif porté par un observateur extérieur.

Mais le fait même que je puisse dire : « j'ai mal » indique une évidence connexe, par laquelle je revendique comme mienne la douleur que ressent ce corps : celui qui peut dire « j'ai mal » s'affirme être le même que celui qui souffre. Il est à la fois le « vécu » douloureux, forme première sans doute d'un proto-Soi somatique, support éventuel d'une régulation antalgique à valeur homéostatique (Damasio, 1999, 2010) et celui qui peut s'énoncer tel, sujet affectif conscient et parlant (Bréhaux, 2017), qui s'identifie au premier et espère l'arrêt de cette souffrance. Ce triple trait de douleur, de parole et d'espoir s'accompagne d'autres caractéristiques ressenties, qui caractérisent mon vécu propre (souvenirs, affections…) que je puis rappeler et verbaliser devant autrui. Le proto-Soi, vécu d'un état psychophysiologique, et le Moi capable de le nommer, deviennent ensemble un Je, un sujet capable d'agir, de vivre une rencontre, voire de se nommer devant autrui, en s'identifiant à un nom personnel, à une histoire individualisée. Et cet être personnel n'est pas seulement conscience de soi dans un monde connu, mais présente, malgré les obstacles, une volonté de subsister qui constitue un « courage » qui, « en tant qu'affirmation de soi, universelle et essentielle, d'un Être, forme un concept ontologique » (Tillich, 1952/1967, p. 17) apte à s'alimenter d'une espérance et à la nourrir en retour. C'est l'évocation parlée de ce contenu ressenti qui, plus que le strict examen de ses actes, constitue l'exclusif mode d'accès à la conscience d'autrui, tant une même performance apparente peut recouvrir des vécus différents. Il est sans doute illusoire de prétendre saisir pleinement une conscience « de l'extérieur » par l'examen de manifestations. Celles-ci n'en constituent que des symptômes, toujours soumis à interprétation. Chez un Humain, une conduite explicite recouvre un état de conscience (Descombes, 2014) dont chacun peut être invité à rendre compte, mais qu'elle n'exprime qu'incomplètement. L'approche strictement behavioriste, réduite à des constats objectifs, peut pourtant tout aussi bien la rapporter à un mode propre d'explication « objective » sans la considérer comme l'indice d'une réalité intime ; celle-ci n'est compréhensible que par une démarche empa-

thique impliquant la reconnaissance d'une certaine similarité entre deux interlocuteurs.

La reconnaissance d'une subjectivité personnelle lors d'un échange est inséparable de la reconnaissance d'un Autre, abordé comme un « Tu » qui m'est semblable à maint égard, puis de « Eux », qui sont susceptibles d'exister aussi pour « Toi » sans s'identifier à « Moi », et sont en cela objets possibles d'une désignation commune, voire d'une pratique « objective » de collaboration ou d'agression.

Il existe donc une approche spécifique dans l'étude des conduites humaines, permise par l'accès à un code symbolique qui est commun au chercheur et à son objet d'étude, et donc une possibilité de communication linguistique, qui n'est partagée avec aucune autre espèce animale et qui permet de construire une « psychologie de sens commun » (*sensu* Livet, 1992, p. 77) qui fonctionne comme une théorie implicite. Cet aspect entraîne une identification plus directe entre le sujet et son objet d'étude, sujet et objet s'étant respectivement reconnus comme Humains. L'histoire de l'ascendance humaine, notamment entreprise en « compréhension », touche donc aussi à l'intime, à la différence de celle des comportements animaux, mais elle rencontre du même coup une difficulté épistémologique qui n'existe pas dans les autres disciplines des sciences de l'évolution : celle du passage de la description d'un être biologique relevant d'un monde de causes (physiologiques ou écologiques), et qui en cela peut relever d'une connaissance objective, à un être connu comme une « Personne », accessible à des « Raisons dans un monde de Causes » (Dretske, 1988), et relevant d'une analyse « en compréhension ». Cette transition pose un problème nouveau : la combinaison d'une phylogenèse zoologique, relevant de méthodes purement objectives, avec une archéologie de son propre savoir, entreprise par un être rationnel tentant de comprendre l'origine de sa Raison.

Il est classique, à cet égard, de distinguer quatre niveaux de complexité croissante, sans signification phylogénétique précise, grossièrement liés à une complexification anatomophysiologique, mais susceptibles aussi de subsister comme traces dans les organismes complexes. Figures d'une interaction entre organisme et environnement, il convient aussi de les examiner sous l'angle de la relation avec la forme de réalité intime, qu'elles peuvent ou non recouvrir, et donc du Sens que l'on peut leur attribuer, sous les diverses acceptions que peut prendre ce terme. Le neuropsychiatre Erwin Strauss (1935/1989), comme plus tard Buytendijk (1952 et 1958/1965), avaient aussi développé une certaine forme de psychologie en une « phénoménologie du temps et de

l'espace », axiomatiquement applicable à une certaine « intériorité » animale à condition de la distinguer de toute expression consciente, spécifiquement humaine et soumise à la possession d'un outil linguistique suffisamment riche pour la faire partager.

Quatre formes de conduite marquent des étapes de ce parcours évolutif vers l'hominisation :

1. Réflexes et taxies, formes simples de réponses, qui s'observent chez les organismes unicellulaires, mais subsistent aussi dans des formes d'organisation biologique plus complexes.
2. Les comportements dits « instinctifs », caractérisés par des processus dits d'« investissement de forme », que l'on retrouve dans la plus grande part du monde animal.
3. L'apparition des représentations, ou *Comment l'Esprit vient aux Bêtes* (Proust, 1997).
4. L'apparition de la fonction symbolique, qui constitue une spécificité humaine.

Sans détailler davantage ici leurs diverses spécificités, je voudrais caractériser leurs impacts respectifs par rapport à la recherche du Sens.

1. Les phases d'une genèse de la Raison

1.1. Réflexes et taxies

Réflexes et taxies sont des réactions automatiques à un agent stimulant, éventuellement nociceptif, qui remplissent une fonction adaptative. Le réflexe constitue généralement un mouvement partiel de l'organisme, soit à fonction protectrice soit dans le cadre d'une fonction physiologique précise où il joue un rôle propre.

Un réflexe est une réponse automatique de l'organisme à une stimulation ; peu importe qu'il soit simple réaction physiologique (salivation, frisson…) ou qu'il comporte en outre une sortie motrice extérieurement perceptible (réflexe palpébral, sursaut, réflexe rotulien, cri...). Dans tous ces cas, le réflexe répond sans délibération préalable à un agent, éventuellement nociceptif, et remplit une fonction adaptative : protection de l'œil, préparation à la digestion, régulation thermique, réaction de défense... Il se peut qu'une

analyse fine le réduise à une suite de réactions physicochimiques déterministes, mais, outre cette détermination physiologique, sa pleine explicitation ne peut négliger sa valeur fonctionnelle dans la structure d'un organisme.

La spécificité de la taxie tient à son rapport à l'espace : elle constitue un déplacement orienté dans un champ stimulant. Tout agent stimulant peut en principe déclencher une taxie et celle-ci comporte un aspect cinétique (vitesse du déplacement) et un aspect directionnel vers l'agent stimulant (taxie positive) ou à son opposé (taxie négative). La nature d'une taxie peut aussi être définie par l'agent physique (lumière, pesanteur, vent, champ magnétique…) que l'organisme utilise pour guider son déplacement (phototaxie, géotaxie, anémotaxie, magnétotaxie…).

Pas plus qu'un réflexe, une taxie n'implique, dans son principe, une instance de délibération. Son déclenchement peut être ramené à une suite d'effets déterministes, mais ces effets sont intégrés à un organisme vivant et, dans son environnement normal, sont orientés vers la survie de celui-ci. Cet aspect fait aussi partie intégrante de la nature de la taxie. En cela, la taxie constitue, fonctionnellement, une représentation « naturelle » (au sens de Dretske, 1988) de la zone que la taxie conduit à rejoindre ou à éviter. Elle peut être présentée, à cet égard, comme une forme de « relatif intentionnel » aristotélicien (Taïeb, 2016).

Un environnement extrême, comme celui des grands fonds marins circumpolaires, s'accommode d'une organisation taxique élémentaire, où un seul agent, le champ magnétique, suffit pour régler une conduite taxique qui se trouve alors adaptative pour les magnétobactéries qui y vivent (Dretske, 1988) : la zone profonde, strictement anoxique, constitue le seul biotope qu'elles supportent et une orientation vers le pôle magnétique permet de le rejoindre. L'écologiste considère alors, comme sens ultime du déplacement taxique, l'atteinte de son biotope anoxique et, comme son sens immédiat, le pôle magnétique qui n'en est qu'une « représentation naturelle » et constituerait alors un relatif causal du déplacement taxique.

Un environnement structuré moins simplement permet une pluralité de réactions taxiques, dès lors que l'organisme concerné est équipé pour percevoir les déclencheurs adéquats. Ainsi, Scapini (1999) a étudié les réactions adaptatives d'un amphipode marin, le Talitre, qui fréquente les plages de sable de presque toutes les mers du monde. Enfoui durant le jour dans le sable humide, l'animal en sort la nuit pour chercher sa nourriture en surface. Son biotope privilégié est donc la zone de sable humide proche de la mer

et le sable sec comme l'immersion complète lui sont des milieux également défavorables.

Cet habitat privilégié peut être atteint grâce à diverses réactions taxiques : durant la journée, l'animal placé sur le sable sec d'une dune s'oriente vers le bas (géotaxie) ou vers la lumière réfléchie par la mer (phototaxie), voire, à l'occasion, selon l'humidité de l'air (hygrotaxie), la direction du vent (anémotaxie), ou le gradient magnétique terrestre (magnétotaxie). Le caractère héréditaire de ces réponses est montré par le fait que, placés sur sable sec, des animaux nés en laboratoire de parents récoltés sur les plages de l'Adriatique ou de la mer Tyrrhénienne, montrent une orientation magnétique conforme à celle qui, sur la plage d'origine de leurs parents, les conduirait à proximité de la mer. Une étude ontogénétique indique pourtant que cette orientation initiale peut aussi être modulée par l'expérience. La part de plasticité que la taxie peut aussi montrer tient soit à la possibilité de modelages ontogénétiques, soit à celle de privilégier telle ou telle réponse taxique selon le caractère momentané du champ stimulant. En somme, il existe une certaine redondance des mécanismes taxiques disponibles et celui que l'animal utilise, dans une situation particulière, est celui qui, dans des conditions naturelles, le ramènerait dans son biotope adapté.

D'une façon générale, on peut résumer les caractères d'une taxie en la considérant comme une réaction motrice adaptative, orientée par un petit nombre de stimulations, que ce soit pour des raisons externes (pauvreté du milieu stimulant) ou internes (organisation sensorielle sommaire). Son fonctionnement peut être décrit selon une grille tout aussi déterministe que celle de la photosynthèse des phytobactéries pigmentées, elle-même explicable par des réactions photochimiques aussi impératives que d'autres réactions chimiques. Expression directe d'un réglage endogène, c'est sous la forme pragmatique de la priméité que l'on peut considérer le fonctionnement taxique. Si son sens final (vu comme sa signification écologique) est l'atteinte d'un biotope adapté on peut en outre définir un sens immédiat, qui « représente » le milieu « recherché » et désigne le fonctionnement causal du mécanisme taxique, distinguant intentionnalité et cause efficiente. Ces deux termes retrouvent les termes aristotéliciens de relatif intentionnel et relatif causal (Taïeb, 2016).

1.2. L’éthologie et l’étude de l’instinct

Discipline zoologique, l’éthologie ne saurait négliger ni l’évidente finalisation des conduites animales ni leur insertion dans la longue série évolutive d’êtres relevant d’un déterminisme biologique strict. À ce titre, les fondateurs d’une « éthologie objective » (Tinbergen, 1951/1953 ; Lorenz, 1978/1984) font appel à une double détermination du comportement, également rigoureuse, par un état physiologique adéquat de « motivation » et la rencontre de signaux naturels précis qui constituent des « déclencheurs » impératifs, génétiquement programmés et apparus par sélection naturelle. Le terme d’instinct est alors strictement appliqué à des comportements marqués par un réglage héréditaire, selon lequel un « mécanisme inné de déclenchement » (I.R.M.) associe impérativement une forme prédéfinie de « stimulus signal », à un « pattern d’action » fixe (F.A.P.), comportant une suite déterministe de contractions musculaires, adaptée à la satisfaction d’un besoin physiologique. Comme le physiologiste ou le physicien, l’éthologiste objectiviste « est aussi persuadé que les autres scientifiques, que l’univers est régi par un seul ensemble de lois générales et particulières parfaitement cohérentes, les dernières pouvant toujours être ramenées aux précédentes à condition toutefois que l’on connaisse les structures de la matière dans laquelle elles s’appliquent et le devenir historique de ces structures » (Lorenz, 1978/1984, p. 29).

Dans le prolongement direct de la neurophysiologie, le déclenchement d’un comportement instinctif est parfaitement déterministe et « si nous parvenions à l’objectif de notre analyse, nous parviendrions à expliquer tous les processus du vivant… et ceux qui se déroulent en nous, à partir des lois générales de la physique » (Lorenz, 1978/1984, pp. 29-30). Dans le cadre d’une conduite instinctive, sous l’impulsion d’un « potentiel d’action », l’animal « investit » une forme génétiquement prédéterminée d’une signification (= pouvoir déclencheur) qui déclenche le pattern d’action adéquat. Au même titre que celui d’une taxie, le fonctionnement instinctif, dans sa description « objective », peut être modélisé par les règles simples de réécriture d’une machine de Turing, qui serait assujettie à une règle de succession d’états. Le déroulement d’une séquence instinctive complexe peut alors être modélisé par une suite de règles simples de réponses élémentaires, intégrée en une chaine réactionnelle. Le déroulement d’une séquence instinctive complexe serait alors déterminé par un ensemble de « règles d’action », propres à chacun des états réactionnels successifs et de « règles de transition », assurant le passage d’un état à l’autre, jusqu’à l’atteinte du stimulus ultime qui dé-

clenche la réponse stéréotypée, alors dite consommatoire. Et celle-ci réalise alors la fin du comportement instinctif. Tout comportement instinctif comporte deux phases : un comportement appétitif (*purposive behaviour*), moins stéréotypé, qui prend fin à la rencontre du stimulus déclencheur pertinent et un « schéma inné de déclenchement », automatique, qui marque la spécificité de l'acte instinctif. On dit alors que l'animal motivé « investit » la forme rencontrée d'une signification et que celle-ci déclenche la réponse spécifique qui assure la finalité de l'acte instinctif et y met fin. Le terme de signification se réduit à indiquer le préréglage génétique, sélectivement acquis, d'une correspondance entre une forme et un mécanisme inné de déclenchement.

Un tel modèle, strictement déterministe et linéaire, contraste avec tout modèle, taxé d'intentionnel, qui verrait dans les actes successifs de simples étapes visant à atteindre l'objectif qui permettrait l'activité consommatoire. Ce serait même, selon les éthologistes objectivistes, faute grave que de faire intervenir quelque élément intentionnel que ce soit dans une série aussi strictement déterministe. Aussi automatique que la taxie, l'acte instinctif n'en diffère que par sa réactivité à une forme et non à un agent simple. Mais si la taxie présente aussi un aspect cinétique, la vitesse de la réponse étant liée à l'intensité de la stimulation, la réponse de l'acte instinctif à des imitations approximatives du déclencheur naturel (des « leurres ») est modulée par l'intensité de sa motivation.

Intentionnalité ou programme ? Seule l'analyse expérimentale permet de choisir le modèle le mieux adapté à la description d'une séquence particulière. à ce titre, notre équipe a privilégié l'étude de séquences instinctives naturelles chez les Guêpes Sphégides. Une présentation cognitiviste considère la séquence comme la résolution, par étapes, d'un problème de haute valeur adaptative, dont la dernière étape finalise la fonction. Elle laisse prévoir que la présentation de l'objet ultime et l'exécution de l'acte correspondant peuvent court-circuiter les actes intermédiaires devenus sans objet. Au contraire, un modèle d'enchaînement d'états privilégie la maturation progressive d'un état interne à travers les étapes successives.

Ainsi selon Gervet et Truc (1990), la séquence reproductrice du Sphégide *Ammophile hirsute*, un chasseur de chenilles, comporte les actes suivants : piquer la proie (en lui injectant un venin au niveau des ganglions nerveux), malaxer la capsule céphalique de la proie paralysée, la transporter vers un lieu d'entrepôt provisoire, creuser un terrier, transporter à nouveau la proie paralysée, la tirer au fond du terrier et pondre un œuf à sa surface, reboucher le terrier. Si l'acte fonctionnel décisif est la ponte sur la proie, sa finalité repro-

ductrice est claire : permettre à la future larve d'avoir d'emblée à sa disposition un aliment consommable sans danger. On peut dès lors réaliser des « raccourcis » en offrant à la guêpe des ébauches, diversement complètes, de la situation finale : chenille déjà paralysée, terrier déjà creusé, voire chenille déjà paralysée présente dans un terrier. Une expérience symétrique consiste à remplacer systématiquement par une nouvelle chenille saine celle qui vient juste d'être paralysée afin de déclencher une multiplication des essais et la reprise indéfinie des premiers actes.

En fait, l'escamotage des actes devenus inutiles ne représente pas la conduite la plus fréquente : il arrive que la chenille présentée déjà paralysée soit d'emblée transportée, mais le cas le plus fréquent est la reprise, devenue inutile, d'une série de piqûres, avant un nouveau transport. Quant au terrier déjà creusé, il est rarement utilisé et, même alors, s'il contient une chenille paralysée, celle-ci est extraite avant une reprise de la piqûre et la réutilisation éventuelle du terrier par une nouvelle introduction d'une proie paralysée (éventuellement la même), voire la reprise du creusement. La séquence se présente donc, plutôt que comme la suite d'étapes dans la résolution d'un problème, comme la succession programmée d'états réactionnels, dont chacun se caractérise par un acte et une forme stimulante apte à le déclencher. Cette organisation suggère une causalité par poussée endogène progressive plus qu'un réglage en fonction d'une fin.

Une épreuve complémentaire consiste à présenter simultanément, à un animal sous motivation de ponte, toutes les formes significatives qui interviennent au cours de la séquence, de façon, dans une optique cognitiviste, à lui faciliter le choix par mise d'emblée à sa disposition de tous les objets nécessaires à la réalisation de l'acte consommatoire complet. Le résultat est généralement tout différent : on relève un blocage de la séquence par des répétitions d'actes inutiles, voire des reprises d'actes déjà réalisés, jusqu'à épuisement de la motivation et retour au repos. C'est l'opposition même entre la pluralité des objets disponibles et la situation qu'« attend » l'état immédiat de l'animal qui bloque toute réalisation « normale » du comportement jusqu'à épuisement de la motivation. Ainsi, la succession des réponses dans la poursuite d'une telle séquence peut difficilement être décrite comme un cheminement dans la résolution d'un problème, mais plutôt comme un enchaînement de pulsions élémentaires, écologiquement intégrées dans une conduite adaptative. Le sens dernier du comportement est la réalisation de la situation propre à permettre la survie de la larve, mais le sens immédiat de

chaque étape peut être vu comme l'atteinte d'une situation compatible avec la réalisation d'un acte précis.

Comme pour la taxie, ce sens est attribué par l'observateur pour indiquer un processus causal orientant le décours du comportement. Une présentation non cognitiviste de ce décours s'inscrit aisément dans un modèle causaliste, qui peut s'expliquer soit selon un modèle purement physicaliste, soit selon une tendance référée à l'approche, d'allure phénoménologique, qui se désigne elle-même comme une théorie de l'Action. Merleau-Ponty (1942/1963) considérait ainsi toute motricité orientée comme une intentionnalité de base, présente chez presque tous les organismes animaux et exprimée en des « intentions » partielles hiérarchiquement organisées. C'est la description intime de tels états fonctionnels qui peut, dans une approche dite « psychoéthologique » (Gallo, 1988), être désignée comme une subjectivité latente, qui se trouve accompagner tout programme moteur spécifique. Sans anticiper sur la suite, on peut d'ores et déjà indiquer la proximité de cette idée avec la vieille conception selon laquelle c'est « l'effort voulu, immédiatement perçu, qui constitue expressément… le fait primitif du sens intime » (Maine de Biran, 1812/1932, p. 175 *et seq*.).

Chez les Insectes Hyménoptères et dans tous les cas de comportements qualifiés d'instinctifs, l'organisation des actes prend la forme d'une suite, assez strictement ordonnée, d'états successifs, incomplètement soumise à une instance adaptative de régulation selon les aléas de la situation. L'efficacité d'un déclenchement d'acte est réglée par l'adéquation au stimulus signal précodé, marquant l'«attente » de l'animal de la forme que lui offre la situation immédiate. Le degré d'adéquation réalisé conditionne l'efficacité d'un leurre expérimental pour le déclenchement d'une réponse instinctive. La réactivité à un leurre médiocrement ressemblant à l'objet naturel croît avec l'intensité de la motivation. Ce fait est compatible avec un modèle mécaniciste de l'instinct. Mais l'effacement progressif de l'efficacité d'un leurre trop longuement présenté marque la limite d'un modèle physicaliste et suggère l'analogue de quelque expérience « mentale » de l'« effacement » progressif d'une signification, présentée continûment sans confirmation par un stimulus ultérieur censé déclencher l'acte suivant de la séquence instinctive.

La rigueur de cette organisation déterministe, malgré sa valeur adaptative dans certains modes de vie, n'est pas générale dans le monde animal. Même chez certains Insectes, et dans le cadre de certaines fonctions (activité bâtisseuse, gestion de l'espace), une certaine plasticité autorise plusieurs formes d'utilisation de critères, voire de substitution de l'un à l'autre, suggérant une

forme de transfert de signification, que l'on peut aussi présenter comme le renvoi d'une forme à une autre, ce qu'une approche cognitiviste peut choisir de considérer comme marquant une certaine « profondeur » de la représentation (Proust, 1997, p. 170 *et seq*.).

Mais, plus encore, nombre d'espèces animales montrent une plasticité adaptative notable, qui ne saurait s'enfermer dans la rigueur d'une séquence instinctive programmée : elle leur permet alors de s'adapter à de nouveaux biotopes ou à des situations expérimentales inédites, grâce à des stratégies impliquant une instance de représentation de la situation. Mais comment définir ce qu'est une représentation ?

En un sens très général, plus écologique que proprement psychologique, on peut parler de représentation dès lors qu'existe une correspondance précise entre un état du monde écologiquement significatif et un changement adapté de l'état d'un animal. Ce changement est lié à la réception d'un stimulus précis : dès lors que celui-ci covarie avec l'agent pertinent de l'environnement, il peut être considéré comme une « représentation naturelle » de la situation (Jackendoff, 1987). Si une telle définition reste économique en hypothèses, sa traduction objectiviste s'en contente et y voit un simple schéma inné de déclenchement, à considérer « comme un simple caractère spécifique des groupes concernés au même titre que la forme des dents, des plumes, ou d'autres caractères dont l'utilisation a fait ses preuves en morphologie comparée » (Lorenz, 1978/1984, p. 13). Pour la démarche behavioriste stricte, de même, l'organisme est une boite noire dont seules entrées et sorties peuvent être directement appréhendées, voire modélisées selon un modèle turingien. L'association obligée entre un stimulus et une réponse représente la seule modalité causale à laquelle le psychologue peut se rapporter. Tout ce qui se situe ailleurs soit relève d'un mécanisme physiologique, soit est pure description métaphorique de ce mécanisme.

Mais la conception actuelle des représentations animales, dite cognitiviste ou néo-behavioriste, veut conserver la rigueur méthodologique des behavioristes sans renoncer à une démarche explicative qui donne une place aussi à des principes causaux plus élaborés que les règles d'implication S-R dont se contentent les behavioristes (Vauclair, in Gervet et Vauclair, 1999, p. 234). Cette conception invoque alors des instances intermédiaires entre stimulus et réponse et leur attribue le statut de représentations mentales, intervenant causalement dans la construction d'une réponse adaptée quelque peu complexe. Elle constitue donc une hypothèse plus forte et, corrélativement, plus exigeante en résultats expérimentaux capables de valider les instances invo-

quées. Liée à cette exigence, une psychologie expérimentale moderne ne peut que s'y soumettre.

Si l'on cherche à dépasser la simple valeur analogique ou fonctionnelle des termes de récompense ou de punition, tels qu'utilisés par les premiers behavioristes, on est conduit à reconnaître la pertinence causale d'événements « mentaux », non descriptibles en termes physiologiques, mais qui jouent néanmoins un rôle causal effectif dans le déclenchement des conduites animales. Mais « là où il y a causalité, il doit y avoir une loi » (Davidson, 1980/2002, p. 237) et donc un système causal propre confrontant but et situation en un modèle logique associant causalité mentale et finalité intentionnelle. Cette approche évoquerait celle de quelque « animal technicien » (Gervet, 1992) que l'on peut formaliser en un modèle computationnel, sans même considérer nécessairement la nature de l'opérande intime qui constitue le substrat des opérations logiques mises en œuvre. La fécondité de l'approche la rend nécessaire à toute compréhension des conduites adaptatives animales, mais il devient alors rapidement nécessaire de s'interroger aussi sur la nature de l'opérande utilisé.

1.3. Les représentations animales

Dans la perspective cognitiviste contemporaine, l'Animal n'est pas un simple automate, enfermé dans un enchaînement de réflexes, voire d'instincts stéréotypés, fussent-ils écologiquement adaptés. Il possède en outre des capacités cognitives variées impliquant des variables intermédiaires de représentation qui s'expriment dans diverses stratégies d'utilisation de l'espace ou de traitement d'objets. Les approches de psychologie cognitive impliquent alors « de faire de ces variables intermédiaires l'objet central de l'étude » (Vauclair, 1999, p. 235). La représentation implique une capacité à garder une trace d'un stimulus, autrement dit à « conserver en mémoire et à récupérer un stimulus rencontré préalablement » (Vauclair, 1994, p. 227). Sous quel format est-il conservé ? Quelles opérations mentales peut-on alors postuler ?

Depuis bien des décennies, la psychologie expérimentale animale a multiplié les expériences de toutes natures pour mettre en évidence l'utilisation de ces traces : le moindre conditionnement pavlovien, le moindre transfert d'apprentissage, impliquent que soit mémorisé un lien entre « punition » ou « récompense » et réponse, voire entre action instrumentale et attente d'un « résultat ». Le « sens » d'une taxie ne faisait, pour l'éthologiste, que désigner

sa fonction écologique. Par contre, dans une perspective cognitiviste, le sens d'une réaction apprise désigne un état psychophysiologique (ou « mental ») de représentation d'une préparation à une action et d'attente d'un résultat. Une approche computationnelle considère le traitement d'un problème posé à un animal (détour, transfert d'apprentissage, boite à problèmes, apprentissage sériel…) comme une suite d'opérations de traitement d'opérandes dans le cadre d'une stratégie combinatoire au service d'un objectif impliquant des décisions successives. L'approche cognitive tente en outre de qualifier les opérandes qui sont les objets de ces opérations.

Une acception faible du terme de représentation naturelle pouvait englober à la fois les cas des taxies adaptatives et des conduites instinctives dans leur description objectiviste. Un principe de parcimonie pouvait réduire leur explication à une suite d'associations déterministes entre stimulus et réponse. Mais ces modèles simples ne rendent pas compte de la diversité des stratégies mises en évidence dans les situations problématiques proposées par les psychologues à leur matériel d'expérience, notamment au cours des « comportements appétitifs » tels que définis par les éthologistes objectivistes. Parler de représentation naturelle ne fait que nommer un effet, que l'attitude sémiotique classe comme détection d'un signal non intentionnel. Par contre, l'approche cognitive cherche à définir une représentation « mentale », capable d'opérations successives et elle invoque alors un mode de fonctionnement plus élaboré. Le cognitiviste (Engel, 1992, 1994) est alors conduit à admettre l'existence d'un « Esprit » animal, capable de contenir des représentations mentales, des croyances, voire des états volitifs de signification motivationnelle. La reconnaissance d'un état mental de nature computationnelle, suppose qu'y existent des processus de calcul (traitement d'opérandes par des opérateurs) dont les résultats covarient avec l'état de l'environnement, et qui peuvent, dès lors, diriger le comportement d'une manière adaptée.

Le développement d'une telle psychologie cognitive animale se marque par la diversité des épreuves expérimentales réussies par les animaux auxquels elles ont été soumises. Des épreuves de réponse différée, de recherche d'un objectif lointain par un raccourci dans un labyrinthe précédemment parcouru, et l'observation de conduites décrites comme attitudes d'attente (*expectancy*) permettent de rendre compte de conduites de « déception », de gestion de séquences, ou de confrontations d'images. Elles soulignent la nécessité de considérer que subsistent dans l'esprit animal des représentations imagées qui peuvent être soumises à des opérations de pensée assimilables à un calcul.

Cette approche ne s'oppose évidemment pas à une approche typiquement physiologique, mais elle illustre au contraire la complémentarité d'approches différentes d'un même processus organique.

Le passage du concept d'investissement de forme, ou de signification, à celui de représentation implique un changement d'insistance à la fois sur la source de l'activité animale considérée et sur la forme de réalité pour l'animal qui se la représente : c'est l'animal qui, selon son état motivationnel, attribue à une forme une signification et un rôle déclencheur ; par contre, une représentation est censée être l'image d'un objet[1], qui peut être diversement perçu et déclencher divers comportements selon le besoin du moment. Toute représentation « naturelle » n'est donc pas représentation cognitive ni état « mental », mais, dans la suite des paramètres qui décrivent la situation, certains sont plus spécifiquement corrélés à des aspects caractéristiques d'une réponse, mais peuvent aussi être remplacés par d'autres : c'est ce lien, variable selon l'état motivationnel du moment, voire selon ses expériences successives, qui définit seul l'existence d'une authentique représentation mentale. La possibilité pour l'animal de substituer une forme à une autre (transfert de conditionnement), voire plusieurs formes successives traitées comme équivalentes, indique que sa représentation comporte une certaine « profondeur », indiquée par le nombre d'équivalences qu'elle peut comporter. Le mécanisme représentatif devient alors processus causal et non simple résultat objectivement finalisé de mécanismes organiques déterministes. On ne peut parler de représentation que « si un système capable de la former est capable d'apprendre une suite de propriétés distinctes du même objet » (Proust, 1997, p. 265).

La diversité des modes d'interprétation des conduites animales peut aussi risquer une dérive anthropomorphique et l'appel au principe de parcimonie n'est pas de trop pour éviter de considérer l'imagerie animale comme une réplique de l'imagerie humaine, seule susceptible d'être traduite en une description linguistique. Si l'appel au premier behaviorisme de la simple et directe association stimulus-réponse se montre trop pauvre pour rendre compte des processus computationnels aujourd'hui montrés par des centaines de psychologues, il reste à préciser la nature de l'opérande soumis à la diversité des opérations mentales qui ont été mises en évidence.

1. Et ceci, en principe, quel que soit le format de cette représentation : image analogique, figuration symbolique, voire description linguistique.

Là se situe la contribution qu'apporte aussi la démarche psychoéthologique de A. Gallo (1988), visant à « prendre en compte la subjectivité de base de l'animal étudié » (Gallo et Cuq, 1992, p. 119). Considérer axiomatiquement l'animal comme étant aussi le sujet de son comportement et pas seulement la cible d'un stimulus impératif, ou la résultante de mécanismes biochimiques, conduit de fait à lui attribuer une certaine « subjectivité de base » sans préjuger de la forme du vécu d'un être sans paroles qui ne peut que différer profondément de celui d'un Humain ayant accès à la Langue.

Prenant en compte aussi les apports objectivistes comme cognitivistes, cette approche considère chaque élément d'une telle subjectivité comme le « vécu » d'un état psychophysiologique de préparation à l'action, combinant sensibilisation à une forme sensible et, inséparablement, activation de quelque schéma prémoteur. Von Uexküll (1965), rappellent les auteurs, parlait déjà d'image d'acte, plus que d'image d'objet, pour rendre compte du mode d'appréhension du monde que peut vivre un animal motivé. Donnant alors un sens renouvelé au terme d'investissement, utilisé par les éthologistes objectivistes, le psychoéthologiste le voit comme « vécu » d'un état psychophysiologique de préparation à l'action, susceptible d'être rappelé, confronté à un autre et objet possible des diverses opérations mentales qu'envisage l'approche cognitiviste. Son contenu, plus même que représentation d'objet, est l'image de quelque préparation motrice orientée vers l'exécution d'un acte précis. Selon cette conception, les gestes appris lors d'un conditionnement opérant sont bien plus modulations de l'acte consommatoire orienté qu'apprentissage des gestes opératoires efficaces. Si toute représentation est inséparablement perception de forme et image d'un acte, on devra se demander alors ce qu'il en est pour le passage à l'Humain. Certains auteurs, déjà anciens (Maine de Biran, 1812/1932), avaient identifié un « sens intime du moi comme recouvrant un “ sens de l'effort ”, dont la cause ou force productrice devient moi par [...] la distinction qui s'établit entre le sujet [...] et le terme qui résiste par son inertie propre » (Maine de Biran, 1812/1932, p. 179). À la différence des systèmes strictement objectivistes de Lorenz-Tinbergen un tel modèle « psychoéthologique » (Gallo, 1988) voit l'origine d'une causalité « psychique » animale propre dans quelque forme d'identification imaginaire d'un sujet animal à un monde de stimulus, en une image structurante dans le cadre d'un processus motivationnel précis (Gervet et Gallo, 1993, p. 383 *et seq*.).

Quel que soit l'opérande utilisé (image d'acte ou d'objet), les démarches cognitivistes permettent d'analyser certains aspects des opérations cognitives,

à condition que soient expérimentalement assurés leurs liens avec des objets significatifs. Au-delà d'une simple mise en évidence, une psychologie cognitive permet à la fois de mettre en évidence certaines opérations non triviales et des aspects « mentaux » des mécanismes utilisés. La mise en évidence d'une certaine « rotation mentale »[2] des formes significatives par un animal et un Humain en est un exemple. Les études expérimentales (Vauclair *et al.*, 1993 ; Vauclair et Kreutzer, 2004) ont montré à la fois l'efficacité fonctionnelle comparable d'une telle opération chez le Babouin et chez l'Humain, mais aussi et surtout, sur la base d'indices chronométriques, l'évidence d'une différence de méthode, qui fait inférer chez le Babouin quelque forme d'analogie immédiate, quelque ressemblance d'image et non, comme chez l'humain, une procédure inscrite dans le temps et liée à l'ampleur de la rotation à opérer mentalement. Cette opposition marque le caractère immédiat de la réponse animale selon un mode d'appréhension du monde qui reposerait sur une appréhension globale des formes, opposée à sa liaison chez l'Humain à une préparation motrice contrôlée.

Le mode de traitement des formes dans le monde animal ne montre pas le caractère binaire d'une opposition reconnaissance-méconnaissance parfois considérée comme paramètre fondateur par les philosophes de l'Esprit. L'efficacité variable des leurres selon leur degré de ressemblance avec la forme naturelle montre que la réponse « instinctive » n'est pas du type « tout ou rien » qu'appellerait une opposition disjonctive entre connaître ou ne pas connaître, répondre ou ne pas répondre ; le point le plus caractéristique est, sans doute, que le caractère approximatif du leurre se traduit plus souvent par un caractère peu intense de la réponse que par un délai, marquant quelque « hésitation » sur la nature de l'objet rencontré comme on pourrait l'attendre d'un sujet humain. C'est en ce sens qu'il paraît inadéquat de parler d'erreur dans le cadre d'une conduite instinctive réagissant à un stimulus approximatif (« prendre le leurre pour l'objet normal »), tout comme ce le serait pour un régulateur thermostaté légèrement déréglé.

2. L'expérience consiste en la présentation d'une forme dissymétrique, précédemment apprise, à laquelle on a fait subir une rotation, diversement importante. La réponse humaine marque un retard, proportionnel à l'importance de la rotation, mais cet effet n'apparaît pas chez le Babouin. Cette opposition suggère, chez le Babouin, l'importance d'une « ressemblance » d'image, évoquant l'efficacité modulable d'un leurre légèrement déformé. Par contre, la proportionnalité observée chez l'Humain entre le retard de la réponse et l'amplitude de la rotation suggère une démarche procédurale, impliquant une rotation de l'activité attentionnelle, similaire à ce que serait une rotation effective qui serait opérée sur la forme utilisée comme modèle.

Cet effet immédiat de l'image dans le monde animal a conduit Jacques Lacan à le rapprocher du mode imaginaire d'appréhension du monde chez l'Humain, opposé au mode symbolique lié à son caractère d'être parlant. En effet, selon lui : « il est clair que les phénomènes psychiques doivent s'y manifester […] et que notre imago doit s'y rencontrer au moins chez les animaux dont l'Umwelt comporte […] l'agrégation de leurs semblables, qui présentent dans leurs caractères spécifiques ce trait qu'on désigne sous le nom de grégarisme » (Lacan, 1946/1966, p. 189). Dans les processus, mis en analogie, de l'ovulation de la pigeonne, déclenchée par l'image d'un congénère voire par sa propre image spéculaire, et de la grégarisation sociale du Criquet (Lacan, 1946/1966, p. 96), il pense voir l'amorçage des processus imaginaires d'identification, plus particulièrement propres aux Humains, distincts des processus symboliques, capables de dénotation et moteurs d'activités concrètes.

On doit conclure de ce qui précède, à la fois que la perception du monde est aussi préparation à l'action et que la réponse à une forme significative n'est pas réductible à un choix binaire entre reconnaissance et méconnaissance. Chez l'Humain, il s'agit aussi alors d'une préparation à une action de dénomination d'un objet et de construction d'un vocabulaire référentiel strict, ne s'accommodant d'aucune approximation ; ces traits sont tout aussi nécessaires en milieu social que les autres performances que la sélection naturelle a progressivement introduites dans le patrimoine humain.

C'est cette nouvelle transition, sans doute la plus décisive, qu'il revient maintenant d'examiner.

2. La Langue et l'émergence d'une activité symbolique

2.1. Rappel épistémologique

Un exposé scientifique n'est pas constitué par un ensemble de faits bruts, mais par leur inscription dans un espace logique qui met en cohérence leur mode d'établissement avec la nature du système causal où ils s'inscrivent alors comme « faits scientifiques ».

La psychologie (ou l'éthologie) cognitive utilise une approche computationnelle, basée sur la prise en compte d'un enchaînement logique entre évènements « psychiques », que l'on peut décrire comme un calcul propositionnel. Elle repose sur la prise en compte de variables intermédiaires entre

évènements successifs et leur attribue un statut d'états mentaux ; le psychologue admet que ceux-ci jouent un rôle effectif dans le réglage du comportement.

L'approche psychoéthologique utilise une approche analogique, impliquant la prise en compte d'une instance « subjective » exprimant des états psychophysiologiques de préparation à l'action, d'adéquation à une situation, de discrimination, d'intensité de motivation…; autant d'attributions qui peuvent se légitimer par des constats objectifs d'intensité de réponse à un leurre, de conduites de choix, d'attente, voire de déception, d'apprentissage sériel, etc.

Dans les deux cas, il s'agit, pour le chercheur, de démarches attributives (*sensu* Gervet, 1992) attribuant aux conduites animales des caractères analogues à ceux que la psychologie est conduite à reconnaître dans les conduites humaines. L'évidence d'une continuité évolutive peut justifier ces approches comme grilles d'analyse également légitimes. Mais la prise en compte des spécificités des divers matériaux d'étude n'en est que plus indispensable pour évaluer la nature des discontinuités constatées, voire de leurs mécanismes.

La plus évidente, au cours de l'hominisation, concerne l'acquisition d'une Langue, non réductible aux divers modes de communication animaux. Il convient, au préalable, de rappeler ses caractéristiques propres.

2.2. La Langue comme spécificité humaine

La Langue se marque à la fois par l'utilisation de phonèmes discrets associés en des monèmes, seules formes signifiantes, et l'insertion de ceux-ci dans un système lexical arbitraire, qui assigne à chaque monème une signification précise, définie par opposition à celle d'autres monèmes. Ce système permet une utilisation sémiotique, sous la figure d'une tiercéité. Si des animaux motivés peuvent se montrer très sensibles à l'indice d'une présence de l'objet recherché, si les communications animales montrent des formes très diversifiées de signaux, aucune ne paraît manifester un passage indubitable à une capacité de symbolisation tiercéisée. La recherche d'une transition s'est souvent centrée sur cet aspect. Seule la Langue est censée être le médium de communications référentielles établies sous le mode de la tiercéité, de même que c'est de leur signification tiercéisée que des signaux non linguistiques (icônes, emblèmes…) reçoivent, chez un Humain, leur valeur fonctionnelle (Vidal, 2011).

Depuis Saussure (éd. util., 1976), la Langue humaine reste le système symbolique le plus largement étudié. Sans refaire la revue complète de notations aujourd'hui classiques, je rappelle les traits qui, pris ensemble, l'opposent aux systèmes animaux de signalisation.

Premièrement, la Langue est formée d'éléments phonématiques arbitraires, dépourvus de signification par eux-mêmes et, en cela, bien distincts des divers cris animaux. La fonction signifiante est liée à leur mode d'insertion dans des monèmes, unités de sens formées de phonèmes articulés de façon adaptée. Le sens de chaque monème s'inscrit dans un vocabulaire, où les diverses significations sont attribuées arbitrairement par opposition à celles d'autres monèmes. Un monème peut même se référer à un autre, en un jeu de langage (synonymie, antonymie, analogie, métonymie ou métaphore…) sans nécessiter une proximité des phonèmes. Dans sa fonction de communication, l'expression d'un monème se substitue tant à la présentation de l'objet auquel il est fait référence qu'à celle d'un signal qui manifesterait sa présence. À la différence du cri animal, diversement modulé selon l'état de l'émetteur, l'expression linguistique ne trouve son sens que dans son organisation phonématique, indépendamment de son intensité ou de son mode d'accentuation sonore.

Combinant nécessité d'un fonctionnement organique analysable et immédiateté de sa compréhension par le destinataire, les conduites locutoires manifestent une double dépendance d'un fonctionnement physiologique déterministe et d'un univers linguistique, réglé par les lois propres de la dénomination et de l'organisation du discours.

Deuxièmement, la description d'un état du monde ou d'un projet d'action est transmise en une proposition, articulant des monèmes en une expression linguistique définie, structurée par une syntaxe conventionnelle, propre aux diverses communautés de Langue. Celle-ci marque conventionnellement les diverses fonctions (référentielle, expressive, conative, phatique...) que peut prendre une proposition linguistique, selon des grammaires définies. Divers groupes animaux (Dauphins, Orques…) ont développé aussi des conduites sociales complexes et des modes de communication par signaux, qui ont été considérés par certains comme fonctionnellement proches de la communication humaine. Il est de fait que des systèmes d'échanges de signaux, chez les Mammifères marins, mais aussi chez divers Mammifères terrestres sociaux, peuvent régler efficacement des performances collectives (Lestel, 1987, 2001, 2010) et assurer certaines des fonctions de la Langue. Aucune évidence incontestable ne montre toutefois une authentique fonc-

tion référentielle qui serait distincte de simples signaux d'appel, de menace ou de coordination. En tout état de cause, pour des raisons zoologiques, je me limite, pour ce qui suit, à l'ordre des Primates, auquel appartient l'espèce humaine. D'autres groupes animaux nous montreront peut-être un jour des ressemblances plus convaincantes, mais, aujourd'hui, une vraie fonction référentielle étendue est généralement reconnue comme une spécificité humaine.

Troisièmement, la pragmatique de la Langue humaine, la fait souvent considérer comme traduisant, chez les deux interlocuteurs, des évènements mentaux. Ceux-ci jouent un rôle causal indéniable, mais pour autant « ne se laissent pas intégrer dans le réseau nomologique de la théorie physique » (Davidson, 1980/2002, p. 237). C'est ce que cet auteur désigne comme constituant « l'anomie du mental ». Si certains évènements mentaux interagissent causalement avec des évènements physiques, l'ordre de réalité propre à la Langue peut en rendre compte par des expressions causalistes qui expriment, chez l'être parlant, à la fois la conviction latente de l'existence d'un monde physique organisé causalement et la possibilité d'y intervenir volontairement pour constituer un système symbolique d'organisation concrète des relations et des actes. Cette conviction constitue le support de la rationalité qui isole l'espèce humaine au sein du règne animal. C'est pourquoi l'examen des modes de communication et la recherche de propriétés évoquant celle de la Langue humaine sont utilisés pour éprouver la forme des activités mentales dans le monde animal et leur degré de proximité avec les caractéristiques humaines. Les singes anthropoïdes, phylogénétiquement le groupe le plus proche de notre espèce, ont de ce fait été particulièrement utilisés pour la recherche d'une transition entre monde animal et monde humain.

2.3. Vers l'hominisation

L'existence d'une véritable symbolisation, constituant l'un des principaux critères distinctifs de notre espèce, il a paru utile à des psychologues de rechercher, chez l'animal, une faculté de symbolisation qui soit distincte de la perception de signaux naturels. Nombre de chercheurs s'y sont attachés depuis longtemps, mais la détection d'une symbolisation effective n'a rien d'évident.

Le caractère arbitraire d'une correspondance entre signal et objet ne saurait suffire pour fonder l'existence d'un système symbolique. Ainsi David et Ann Premack (2003) ont utilisé des figures abstraites imprimées sur de petits

carrés pour conditionner des Chimpanzés à choisir ceux qui indiquent l'objet recherché (récompense alimentaire). Les Chimpanzés acquièrent efficacement de tels apprentissages, mais les auteurs refusent d'attribuer à ces indices une authentique valeur symbolique au sens saussurien : il n'est pas pertinent de désigner ces signaux comme arbitraires, car ils ne le sont que pour l'observateur Humain. Dans l'environnement artificiel utilisé, ils ne représentent, pour l'animal, que des indices lui permettant d'associer l'image choisie par l'expérimentateur à l'objet (récompense) que son comportement vise à atteindre.

Les Humains, quant à eux, peuvent aussi marquer très tôt des compétences « cognitives » qui ne relèvent pas encore de la symbolisation. Ainsi Gopnik (2010) montre que, très tôt, le bébé humain manifeste des « intuitions modulaires », qui organisent le développement progressif des capacités définies qui marqueront ses apprentissages ultérieurs : reconnaissance des visages, spontanément distinguée de toute autre forme de complexité équivalente, différenciation des phonèmes de la langue maternelle, voire repérage, au sein d'une forme visuelle complexe, de la séparation physique entre objets distincts. De telles intuitions précoces annoncent et préparent les acquisitions ultérieures et cela aussi bien dans le domaine des relations avec des objets, et donc des compétences techniques, que dans l'apprentissage de la Langue maternelle et de toute communication linguistique. Tout Humain étant pris dès l'origine dans un processus de développement, il serait arbitraire de prétendre rechercher spécifiquement les conditions de fonctionnement initiales et de les distinguer de celles qui surgissent après quelques semaines, voire quelques jours, de développement. Il serait ainsi arbitraire de parler globalement d'une « compétence statistique » du bébé, sans distinguer le format que peuvent prendre les représentations correspondantes aux diverses étapes de développement. Ce format peut pourtant différer fortement d'un stade du développement à l'autre, à une phase où les transitions se montrent très rapides et le terme de « bébé » bien trop général pour indiquer un mode de fonctionnement défini. Chaque intuition modulaire constitue une étape dans l'acquisition d'un mode de fonctionnement qui ne trouvera son achèvement qu'au terme d'un processus de développement, voire de sa nomination linguistique. Chacune prépare une intégration ultérieure dans l'univers imaginaire de l'Humain concerné, mais seule une maîtrise suffisante de la Langue permet ensuite les divers « jeux de langage » socialisés qui soutiennent la symbolisation et conditionnent une relation qui ne soit pas purement imaginaire.

C'est aussi dans une telle perspective interactive qu'on a pu signaler la réaction précoce de « protrusion linguale croisée » du tout jeune bébé, qui répond d'emblée en « tirant la langue » à l'adulte qui lui adresse la mimique symétrique. Une analyse behavioriste peut décrire cette réaction comme un simple « réflexe », qui disparaît d'ailleurs en quelques semaines, mais cette réaction fonctionne aussi comme un mode de communication provisoire, utilisant l'une des rares expressions motrices disponibles, fugace et peu fonctionnelle, bien antérieure à la reconnaissance des visages, mais déjà fonctionnant comme amorce imaginaire d'une ouverture à l'Autre, qui aura ensuite à prendre une forme verbalisée lors des mois suivants.

Si de telles observations soulignent la précocité des jeunes Humains dans des acquisitions préalables à l'acquisition de la parole, on a cherché chez des Primates non Humains à retrouver des performances de type humain.

Ainsi, dans les conditions de nature, diverses tentatives ont pensé mettre en évidence une référence à des objets absents, supposée indiquer une instance de représentation tiercéisée. Dans les bandes de Babouins Hamadryas, un mâle dominant se réserve ainsi l'exclusive des accouplements et attaque les femelles qui tentent de s'accoupler avec d'autres mâles. Il arrive pourtant que certaines de celles-ci réalisent de telles rencontres avec des mâles extérieurs à la bande, mais la rencontre se fait alors dans un endroit couvert et ne s'accompagne pas des habituels « cris d'accouplement », « comme si » la femelle craignait d'attirer l'attention du dominant, alors fictivement présent dans quelque « esprit » de la femelle au cours même de son activité.

Il est clair pourtant qu'une telle présentation peut s'expliquer plus simplement : à proximité de la bande, la femelle subordonnée manifeste un degré d'inhibition qui retentit sur toutes ses vocalisations ; nulle attribution d'une représentation plus spécifique n'est nécessaire pour en expliquer l'absence.

En dehors des rapports hiérarchiques, la réalisation de signaux « tiercéisés » a été attribuée à la signalétique observée chez les singes vervets qui lancent des cris d'alarme distincts « pour signifier » respectivement l'approche d'un aigle des singes ou d'un léopard et « inciter » ainsi leurs congénères à fuir dans des directions opposées (vers le sol ou vers le sommet des arbres) selon la nature du prédateur. Mais cette opposition des réponses, adaptatives dans les deux cas, n'est sans doute tiercéisée que pour l'observateur humain et non pour le sujet qui vocalise. Les observations sont plus simplement interprétées comme accompagnant et indiquant les états immédiats de peur accompagnés d'une forme de fuite adaptée. Ces états s'accompagnent de cris

que chaque autre singe reçoit comme « signal » de danger et réagit ensuite en imitant la fuite du vocalisateur.

La portée d'observations concernant des relations entre membres d'un même groupe social et dans les conditions de nature serait plus convaincante. Mais les observations sont alors plus difficiles et leur interprétation rarement évidente. Jane Van Lawik-Goodall (1971) a ainsi cru observer une attention à la direction du regard de l'autre dirigée vers un point chargé de signification. Dans un groupe de chimpanzés, dont l'un a acquis une compétence particulière à dénicher une friandise cachée, cette observatrice aurait relevé une attention des autres sujets à la direction du regard qu'il ne pouvait se retenir de diriger alors vers la cachette. Le sens de cette « intention » reste à éclaircir, mais son lien avec la recherche de nourriture est sans doute significatif pour une espèce qui, dans la nature, se déplace alors en groupe.

Enfin, dans des situations expérimentales adaptées, on a pu relever des réactions de « pointage » d'un objet désirable par un singe empêché de le saisir, en direction d'autres animaux restés libres. Il reste toutefois à comprendre en quoi cette signalisation, apparemment tiercéisée, peut se distinguer d'un double conditionnement opérant.

Particulièrement significatives pourtant seraient les recherches, déjà anciennes, de Roger Fouts *et al.* (1997) entreprises dans un milieu social reconstitué, permettant une activité semi-naturelle de Chimpanzés, mais les unissant dans un ensemble social commun avec celui de leurs observateurs. Le point le plus caractéristique est que les communications, entre animaux comme avec les humains autorisés à fréquenter cet habitat, voire entre ceux-ci, s'y font exclusivement en « ameslan », un langage de signes manuels imité du langage américain des sourds-muets, enseigné tant aux expérimentateurs humains qu'aux chimpanzés soumis à l'expérimentation. Sur le lieu de l'expérimentation, aucune émission humaine ne peut être faite autrement qu'en ameslan.

Fouts souligne la facilité avec laquelle les chimpanzés apprennent les signes conventionnels de l'ameslan, qu'il nomme des « chérèmes » (signes de la main), analogues manuels des monèmes de la communication verbale, et leur utilisation spontanée ultérieure entre chimpanzés, voire l'« enseignement » de l'ameslan par un chimpanzé expérimenté à des individus naïfs, auquel aucun expérimentateur humain ne l'avait enseigné.

Malgré sans doute l'hypothèse de Fouts, l'ameslan ne saurait pourtant être considéré comme une véritable Langue, commune aux chimpanzés et

aux expérimentateurs humains. Il reste un système de signaux, inventé par un Humain et seulement traduit secondairement en expressions manuelles « enseignées » aux chimpanzés : ce sont ces signaux que les chimpanzés ont pu apprendre et peuvent utiliser dans un contexte défini. Faute de posséder la double articulation linguistique, la complexité d'un vocabulaire structuré ou la signification indicative de quelque « troisième personne » ou d'« objet absent », elle n'en possède pas toute la richesse. Un apprentissage commun d'une communication humain-chimpanzé, en une « Langue » artificielle, n'indique pas pour autant que la même sémantique soit partagée par tous.

La complexité et la lourdeur du dispositif nécessaire expliquent qu'aucun essai équivalent n'ait été repris par les psychologues ultérieurs, qui ont souvent rejeté les conclusions de Fouts, présentées comme anthropomorphiques à l'excès. Deux observations, soulignées par Fouts comme paradigmatiques, suggéraient pourtant, selon lui, un accès à une tiercéité qui rapprocherait les compétences observées de celles des Humains : 1°) Washoe, la femelle dominante, une fois de plus enceinte, répond en désignant son ventre à Roger qui lui demande (en ameslan) : « où est le bébé ? ». 2°) La même, visitée par Deborah, la femme de Roger Fouts, elle-même enceinte, désigne le ventre de celle-ci en « signant » : « bébé de Roger ».

De telles observations paraissent surprenantes et nombre de chercheurs mettent en doute la lecture que Fouts en a faite. L'acceptation de ces interprétations impliquerait pour le moins un questionnement sur le sens des représentations qui sous-tendraient les expressions d'ameslan interprétées par l'observateur humain comme « bébé ici » ou « bébé de Roger ». Roger, auteur et interprète du codage, ne peut que l'interpréter selon la sémantique qu'il pense avoir enseignée. Washoe, posée comme ignorante du mécanisme de la génération, ne peut que signifier le vécu que, dans son monde propre de femelle gestante, peuvent prendre les « expressions » que Fouts a traduites en un langage humain, riche de toutes les connotations que prennent pour lui les termes de « bébé » ou l'attribution d'un lien entre « Roger » et le bébé, supposé présent dans le ventre de Déborah. Aucune traduction en un langage humain ne peut prétendre transcrire le format représentatif de l'expression alors émise par Washoe et traduite par Roger dans la sémantique qui est la sienne. Rien ne permet d'identifier la traduction proposée par l'observateur avec le sens que Washoe indique, par un signe, qui lui a été enseigné, mais qu'elle « adresse » selon un contenu qui reste irréductiblement le sien.

Néanmoins, le rapport de l'activité manipulatoire avec l'acquisition d'une capacité d'expression, mimant une Langue, peut prendre un sens dans

une perspective archéologique. Il est ainsi remarquable que Fouts, travaillant parallèlement à la rééducation d'enfants autistes, parfaitement mutiques, ait déclaré avoir constaté une amélioration de leur état, voire un certain retour à l'expression verbale, en leur enseignant un mode de communication dérivé de l'ameslan.

Quoi qu'en puisse retenir une interprétation équilibrée, ces recherches suggèrent pourtant une phase importante de la transition du Primate animal à l'Humain, passant d'une communication purement signalétique à une ébauche de communication plus complexe. Si cette transition, qui s'est produite à une phase indéterminée de l'hominisation, ne nous est aujourd'hui accessible que par des artefacts à interpréter (ou des restes ostéologiques peu démonstratifs), la seule piste qui nous soit ouverte passe par l'interprétation des gestes qui ont permis leur élaboration et des traces permettant d'inférer leur organisation sociale.

3. Synchronie et diachronie : structure et genèse

Une élucidation des formes complexes de conduites et, *a fortiori*, des conduites humaines peut emprunter deux stratégies : 1°) une étude synchronique, d'ordre structural et comparatif, vise à décomposer cette conduite en des éléments plus simples, arrangés en une structure spécifique ; 2°) une étude diachronique vise à rechercher les corrélats historiques qui ont accompagné le passage à la situation actuelle.

Ces deux études ne peuvent qu'être largement interconnectées, tant chaque élément constitutif, comme chaque structure, est lui-même pris dans une Histoire ; elles n'en sont pas moins conduites à privilégier des approches biologiques distinctes, bien que non exclusives, qui sont respectivement d'ordres structural et génétique.

3.1. Étude synchronique

Les divers aspects que l'on peut décrire d'un fonctionnement humain sont d'abord formatés par les modes d'approche utilisés, qui permettent de décrire, d'une part, des faits se déroulant dans un monde physique où ils sont matière et, d'autre part, des observations appartenant à une sphère intime. Celle-ci ne nous est directement perceptible qu'en première personne, mais son existence n'est pas moins indiscutable dès lors que je considère comme un autre sujet capable de dire « Je » la personne qui me parle et m'apparait

telle dans la connaissance que j'en prends. L'existence d'une Langue, comme outil de communication, constitue donc un prérequis pour toute connaissance humaine, fût-elle désireuse de « partager » le résultat d'une recherche réductionniste. De fait, il est possible de nommer les traits neurophysiologiques qui marquent des différences entre Chimpanzés et Humains (Cohen L., 2009) et conditionnent, chez ces derniers, l'accès à la Langue.

Une telle différence peut nourrir les modèles explicatifs les plus déductifs, mais qu'explique-t-on alors : un mécanisme causal ? Un corrélat ? Un préalable nécessaire ou un mécanisme complexe combinant ces divers aspects ? Il serait arbitraire de prétendre rendre compte, par les seules lois des sciences de la matière, de la réalité d'un monde « intime », qui ne nous est perceptible qu'en première personne et englobe les structures intentionnelles (*sensu* Brentano, 1874) des opinions, des croyances et des désirs. Chacun de ces mondes constitue un système fonctionnel clos, un monde doté de ses propres règles de détermination des évènements et aveugle à un principe de parcimonie qui exclurait toute causalité mentale. À la suite de Spinoza3 (1661), Leibowitz (2010) considère ces mondes comme des réalités épistémologiquement distinctes et appelant à des modèles explicatifs différents, mais non nécessairement pour autant comme impliquant des réalités ontologiquement distinctes, selon quelque dualisme essentiel, purement métaphysique.

De fait, cette dualité a donné lieu à deux réponses.

La première, de type positiviste, ne cherche à connaître que les corrélats « objectifs » des variables intentionnelles. Le seul élément pris en compte est le comportement explicite et aucun élément intime n'y a alors de légitimité. Une telle description objective résume tout ce qui est connaissable de ces prétendus éléments. Il peut exister alors une continuité entre les systèmes déterministes des neurophysiologistes et des psychologues. Parler d'émergence ne fait qu'indiquer les effets résultants de mécanismes déterministes interconnectés. Ils peuvent alors mimer fonctionnellement quelque intelligence collective par la simple interconnexion de réactions individuelles selon un algorithme relativement simple (Bersini, Kuntz et Snyders, 1994). Cette démarche peut rendre compte des performances collectives, parfois suggestives, qu'elle vise à modéliser, mais elle ne saurait atteindre (et s'en flatte) le niveau

3. L'Âme et le Corps sont un seul et même individu qui est conçu tantôt sous l'attribut de la Pensée, tantôt sous l'attribut de l'Étendue » (Spinoza, *Éthique*, 1661, proposition XXI, Scolie).

intime que prend toute expérience personnelle et à qui elle dénie toute pertinence cognitive.

La seconde, de type attributif, cherche dans les structures plus simples des éléments fonctionnels analogues à ceux qu'elle pense discerner dans le monde humain. Cette approche analogique, poussée à son extrême, conduirait à parler d'une « bioconscience », selon une postulation axiomatique, de forme vitaliste, difficilement acceptable de nos jours. De façon moins radicale, les chercheurs d'inspiration phénoménologique (Merleau-Ponty, 1963 ; Buytendijk, 1928, 1952, 1965) pensent déceler, dans les conduites animales, une certaine forme de subjectivité latente, privée cependant du contenu conscient des processus Humains, conditionnés par leurs capacités linguistiques.

Les réponses objectivistes ne permettent pas de retrouver le qualium d'une forme intime de rencontre avec un monde ou avec soi-même et s'accommodent fort bien d'en faire l'économie. On est alors confronté à ce que Hofstadter (2008, p. 23 *et seq*.) nomme le problème difficile par excellence : comment peut se produire « l'apparition de Soi et d'âmes à partir de matière inanimée » ? Peut-être un simple constat, ou une irréductible double approche à la manière de Spinoza, représentent-ils les seules attitudes possibles face à une telle question sans autre réponse possible.

La principale tentative repose sur l'existence des bouclages autoréférentiels qui engendrent la causalité formelle, aux multiples paradoxes, d'un sujet se connaissant lui-même. Mais la relation entre deux éléments ne peut conduire qu'à une forme relevant d'un même statut causal ; l'existence d'une conscience plus élaborée impliquerait celle de bribes élémentaires de quelque « bioconscience » préalable. Faute de placer celle-ci dans quelque élément de base, idée peu acceptable par un biologiste, on ne peut que placer l'origine du qualium autoréféré dans la forme même du bouclage et non dans ses éléments, selon quelque intégration idéomotrice (Paillard, 1994, p. 562) dont l'organisation neurophysiologique ne fait que fournir des conditions nécessaires. L'organisation pyramidale du vivant conduit à un organisme hiérarchisé, bouclé en nombreux circuits autoréférentiels diversement complexes, qui concourraient à la création de ce « protosoi » homéostatique dont sont partis l'analyse de Damasio ou, plus anciennement, les remarques de Strauss. C'est pourquoi, rappelait ce dernier, « la physiologie oppose souvent une résistance entêtée, et souvent coléreuse, à l'introduction de nouvelles idées au sujet de l'expérience vécue ». Une telle résistance n'a plus lieu aujourd'hui et les modèles sont mieux affinés. Selon une description physiologique aujour-

d'hui consensuelle, chaque centre nerveux est « informé » par des « boucles retours » qui résultent de la mise en route des effecteurs mêmes qu'il a déclenchés ; la réalisation d'un comportement global ne peut qu'émerger d'un fonctionnement intégré du biofeedbacks neuromusculaires emboités et non seulement des centres nerveux supérieurs. Plus que l'extéroception ou la proprioception, considérées en elles-mêmes, ce serait l'intégration cérébro-somatique globale qui matérialiserait le substrat du protosoi et pourrait atteindre à un niveau subconscient, voire conscient chez un être capable de dénomination linguistique. Cette conception psychophysiologique ne fait que rejoindre des conceptions plus anciennes, déjà proposées de divers côtés (Maine de Biran, 1810/1932 ; Merleau-Ponty, 1942/1963), sur la signification prémotrice de toute évidence interne.

Il n'y aurait donc pas, dans le système nerveux le plus élaboré, quelque « premier moteur » responsable de tout le comportement, mais un fonctionnement émergent de circuits interconnectés, qui assure néanmoins l'intégration sensorimotrice. Certes, le précortex joue un rôle intégrateur particulier. Mais ce n'est pourtant pas le cerveau qui « pense », mais le corps tout entier. Cette pensée même est à son tour mise au service de quelque pulsion, de quelque désir, qui exprime à son tour l'intégration idéomotrice d'un fonctionnement physiologique au service d'un besoin organique. Le désir humain (fût-il inconscient) n'est pourtant ni simple pulsion organique ni besoin physiologique, mais quelque demande de l'ordre d'un discours que le corps s'adresse à lui-même, et donc exercice de Langue désignant un objet : on retrouve, au niveau de la motivation, le même paradoxe qu'au niveau de la cognition. L'évidence première de la demande désirante est du même ordre que celle de l'image perceptive. Le paradoxe de l'hétérogénéité des modèles symbolique et imaginaire n'en subsiste pas moins, mais le parallélisme possible des modèles et la légitimité d'une « double description », telle qu'elle est envisagée par Spinoza, se substituent à la double ontologie cartésienne de « l'homme dans la machine ». En cela, « l'âme » correspond plus à la forme aristotélicienne qu'à quelque principe cartésien qui la penserait ontologiquement distincte.

La principale question qui se pose alors concerne l'identification intime que je fais de moi-même avec cet ensemble de boucles rétroactives, voire avec la plus englobante d'entre elles. Si l'individu personnel se réduit à un enchaînement pyramidal de formes « rétro-connaissantes », sous quel format et dans quelles limites, cet enchaînement se peut-il connaître lui-même comme une unité ? Pourquoi suis-je mon corps (voire l'image de mon corps) et non,

par exemple, mon système lymphocytaire « intelligent » (Stewart et Varela, 1994, p. 145 *et seq.*), voire mon entérogénôme ou telle autre partie intégrée du corps, qui concourt aussi à mon identité ? Comment puis-je connaître la connaissance que je prends de moi-même ? Y a-t-il une limite à cette connaissance de soi ? Et quel mécanisme transforme cette connaissance en une décision d'agir ? Suis-je donc seulement la « Boucle étrange » que souligne Hofstadter (2008) ? Ne retrouve-t-on pas alors, *in fine*, un équivalent de l'erreur méthodologique du behaviorisme, identifiant d'autorité une relation d'implication, voire de corrélation nécessaire, à un principe causal. Et pourquoi celui-ci plutôt qu'un autre ?

En définitive, la classique querelle entre partisans d'une continuité Animal-Humain et ceux qui privilégient la rupture est fondamentalement faussée quand elle se situe à un niveau ontologique : l'existence d'une continuité historique, voire ontologique, constitue l'évidence de base en dehors de laquelle aucune conception n'est acceptable, mais la confrontation des fonctionnements actuels et des projets respectifs qu'ils peuvent exprimer dans leurs conduites ne peut que souligner aussi la radicalité épistémique d'une différence appelant à privilégier des systèmes explicatifs différents. Qu'on la désigne comme rupture ou comme émergence, aucune conception rationnelle ne peut négliger cette double évidence.

Mais le débat n'est pas clos pour autant quand on considère le corps humain dans son ensemble, car chacune de mes actions est aussi intégrée à un projet, voire à un projet socialement conditionné. Suis-je donc seulement cet ensemble nerveux multibouclé ? L'identification imaginaire à la représentation que me renvoie la parole de l'autre ? L'incarnation individualisée d'un jeu social ? Voire l'expression intériorisée de ma situation de classe personnelle (Sève, 1996) ? On voit que le « problème difficile » n'est pas résolu pour autant, tant divers sont les principes explicatifs, également légitimes, qui peuvent être proposés. L'étrangeté de la multiboucle persiste après analyse de son fonctionnement : à tous les degrés que puisse atteindre la connaissance, l'existence de plusieurs dispositifs bouclés sur eux-mêmes entraîne une pluralité de grilles explicatives possibles (structure *versus* fonction, structure *versus* genèse, autonomie *versus* détermination, résultante *versus* innovation, causalité *versus* finalité, détermination individuelle *versus* déterminisme social) selon une forme de réalité fractale (Thom, 1980, 1988 ; Mandelbrot, 2010), comportant une similarité des divers niveaux d'intégration et des divers paradoxes que l'on retrouve à chacun d'eux. On se retrouve alors devant l'aporie kantienne de la liberté (troisième antinomie de la Raison), à laquelle

ne peut guère répondre qu'une autre affirmation axiomatique, que celle-ci se réfère à l'imprégnation sociale selon Marx, à un choix existentiel selon Sartre ou à une intégration nature-surnature selon Thomas d'Aquin. De cette liberté, on ne peut décrire que des conditions ou des corrélats, mais ceux-ci ne constituent pas pour autant des causes déterminantes. Si chacune de ces raisons premières recouvre un objectif défini, voire selon Foucault (1969/2015), un projet de pouvoir, on est renvoyé à l'enjeu même de la démarche scientifique utilisée, chaque principe explicatif particulier définissant aussi une possibilité d'intervention sur un aspect défini de l'objet analysé, sans pointer la véritable raison d'intervenir.

3.2. Étude diachronique

La série des formes de réponse décrites plus haut correspond à des stratégies progressivement plus fines d'adaptation à l'environnement et leur développement au cours de l'évolution biologique ne peut aussi qu'avoir été modulé par des mécanismes sélectifs. Certes, chaque forme est adaptation à une niche précise, mais elle est du même coup, à chaque cas, abandon phylogénétique de réponses moins adaptées.

Darwin (1871/1981) et tous ses successeurs darwiniens (cf. Tort, 1996) étendent cette conclusion au développement des caractéristiques proprement Humaines à partir de celles de quelque grand singe. S'il existe aussi des traits communs (plaisir, douleur, peur, attachement parental et social, voire, selon lui, ébauche d'esprit solidaire), l'espèce humaine montre aussi des traits spécifiques que caractérise le triple accès à un sens éthique, à un fonctionnement rationnel, voire à des systèmes dogmatiques ou religieux. Également conservés par sélection naturelle, ceux-ci peuvent prendre des formes nouvelles, largement modelées par l'exercice d'une Langue, permettant des échanges argumentés entre sujets capables d'en tirer profit. Le développement graduel de propriétés initialement apprises, mais ensuite devenues héréditaires[4], concourrait alors à un développement social de l'altruisme qui rétroagit sur les mécanismes sélectifs. La génétique intégrée plus tard par le néodarwinisme implique pourtant que seul un apparentement direct est pertinent pour orienter un processus sélectif. Wynne-Edwards (1962, 1986) en tire un modèle de « sélection de groupe » : les membres d'un groupe où existe une conduite « altruiste » ont globalement une descendance accrue, qui profite à

4. Darwin, ignorant la génétique, largement développée après sa mort, invoque parfois des mécanismes que nous qualifierions aujourd'hui de Lamarckiens.

chacun d'eux. Mais dans ce cas, objecte Maynard-Smith (1964), l'avantage sélectif profiterait autant, voire davantage, aux membres non « altruistes » du groupe qu'aux « altruistes » et ne saurait donc sélectionner le premier trait contre l'autre. Un modèle de « sélection de parentèle », limité à la lignée parentale directe, est plus pertinent pour tout cas de transmission génétique, strictement liée au lien de descendance (Hamilton, 1964). L'école dite sociobiologique (Dawkins, 2003) en fait dès lors le principal modèle pertinent pour l'évolution des comportements.

Dans l'espèce humaine, pourtant, le réglage génétique n'est plus, en tout état de cause, le facteur décisif de transmission des conduites. Cette transmission est d'ordre culturel, plus clairement liée aux échanges symboliques qu'aux facteurs héréditaires ; l'environnement symbolique où se situe la transmission sociale et le développement des générations successives remplacent le poids de la transmission héréditaire et de l'environnement physique. L'évolution reste réglée par les contraintes de l'environnement, mais ce n'est plus du même environnement dont il s'agit et c'est l'ensemble des relations symboliques qui en représente l'aspect décisif. Dès lors, l'espèce n'est plus l'ensemble des individus susceptibles de se croiser et ainsi de se constituer en une communauté génétique, selon la définition zoologique habituelle, mais l'ensemble de ceux qui peuvent communiquer linguistiquement et ainsi former une communauté partageant le même système symbolique. Si nombre d'espèces animales sociales peuvent être sensibles à un effet de groupe (Grassé, 1948, 1958), sur une base purement instinctive automatique, l'utilisation d'une Langue en peut faire, sur la base d'une reconnaissance d'une altérité-complémentarité, une société organisée, consciente et dotée de lois.

Cette spécificité de l'Homme comme « *Animal Symbolicum* » (Cassirer, 1944/1988), évidemment conditionnée par des réglages physiologiques propres (Cohen L., 2009), implique l'activité de zones cérébrales à la fois perceptives et prémotrices, à la base de toute intelligence sensorimotrice. On a pu notamment souligner l'importance des « neurones miroirs » (Rizzolatti et Siniglia, 2007), dont l'activation se lie tant à la préparation à un acte qu'à la perception du même acte, effectué par un autre individu. Le passage d'une telle structuration fonctionnelle, support possible d'une imitation, à un fonctionnement symbolique ne peut évidemment être ni précisément daté ni seulement lié à un changement neurologique unique. Seule l'étude des conduites permet d'inférer son développement : transmission d'informations, développement de projets, construction d'outils, voire (plus tardive-

ment) figuration d'images et de signes, et également construction d'outils, seule activité dont nous ayons des témoins assurés.

Une projection d'objets contre un importun a été signalée chez des Babouins et nombre d'autres Primates, sans qu'il soit nécessaire de qualifier d'outil cette utilisation, peu spécifique, d'objets matériels, qui ne fait que traduire et prolonger des gestes agressifs. Plus significative est l'utilisation, par des chimpanzés, de grosses pierres pour casser des noix dures, frappées d'une pierre « marteau » contre une pierre « enclume ».

Il existe à cet égard une transmission de la technique de la mère au jeune, mais elle se fait par imitation (fût-ce avec « incitation » et accentuation signalétique des gestes) sans que rien ne puisse suggérer quelque « description » de la performance : la communication reste signalétique sans devenir descriptive et encore moins symbolique. La pierre « marteau » peut être conservée, transportée, recherchée..., mais ne fait l'objet d'aucune transformation et sa localisation d'aucune signalisation. Quant aux émissions vocales, elles ne marquent rien d'une ébauche de la double articulation linguistique entre phonèmes et monèmes. Faute d'approche plus directe, l'examen des artefacts reste pourtant la seule voie pour aborder l'origine et le développement ancien de la culture humaine.

Les pierres utilisées par les Babouins ou les chimpanzés prolongent le geste de la main en lui donnant une efficacité accrue. Bien que la finalisation du geste (vers l'ouverture de la noix) soit suffisamment intégrée chez les chimpanzés pour se traduire par un progrès en efficacité au cours des tentatives successives, aucune modification apportée à l'objet intermédiaire ne marque cette finalité.

La première rupture significative vers l'hominisation se produit lorsque le sujet commence à transformer la pierre, alors devenue outil, pour l'adapter à sa fonction. La forme la plus ancienne, attribuée aux plus anciens représentants du genre *Homo* (*erectus* ou *ergaster*), voire déjà à quelque Australopithèque il y a plusieurs centaines de milliers d'années, correspond à une industrie sur galets roulés, ceux-ci étant brisés par percussion pour donner un certain tranchant à l'arête ainsi formée. Ces premiers « choppers » (= tranchoirs), acheuléens, voire préacheuléens, marquent un point de rupture décisif d'avec l'activité animale antérieure, même s'ils ne montrent pas clairement un niveau technique principiellement différent de celui du chimpanzé préparant une brindille pour en faire un outil de « pêche » aux termites.

Mais la résistance du matériau lithique (ultérieurement riche en possibilités) appelle à un geste bien différent, qui sera lourd de conséquences.

Tout le paléolithique inférieur montre une amélioration progressive de l'outillage, caractérisée par une longueur de tranchant progressivement accrue pour un même volume de pierre initial. Mais le principe reste l'utilisation d'un bloc par enlèvement des parties (les éclats) qui nuiraient à la performance finale et constituent alors des déchets. « L'outil » utilisable reste la pierre initiale, diversement retaillée pour en éliminer les parties inutiles. Une telle ébauche de construction d'outil par enlèvement d'éclats qui nuiraient au tranchant recherché marque néanmoins la première rupture décisive.

La seconde, indiquant une intentionnalité mieux circonscrite, surviendrait au paléolithique moyen (moustérien ?) quand une nouvelle technique (qualifiée d'industrie sur éclats) ne traite plus ceux-ci en déchets dépourvus de finalités, mais en fait la matière première d'outils plus affinés, permettant une plus longue arête tranchante finale pour un même bloc initial. Le matériau retaillé n'est plus, pour son utilisateur, le « bloc/outil » à perfectionner, mais les éclats eux-mêmes, qui, de déchets, deviennent les matières premières dont l'objet recherché sera extrait. Avant d'être matérialisé, celui-ci est donc d'abord imaginé, voire éventuellement indiqué, et le bloc initial préexistant n'est plus, pour l'artisan qui le travaille, l'outil à perfectionner, mais devient une matière brute, destinée à devenir un nucleus stérile, une fois privée de ses parties utilisables.

Une telle rupture technique, traduisant la poursuite d'un objet d'abord imaginé et non plus simplement perfectionné, est en outre porteuse d'une efficacité accrue. Le paléolithique moyen, puis surtout supérieur, marquent l'apparition d'artefacts de mieux en mieux définis, aux formes parfois subtiles, tirées d'éclats finement retouchés (microlithique), qui suggèrent des fonctions diversifiées (grattoirs, herminettes, javelots, pointes de flèche...) et des recherches conscientes pour leur donner leur pleine efficacité.

Un tel changement de statut des éclats vers une finalisation progressivement mieux circonscrite évoque aussi celui des émissions vocales, passées du statut de cris, chargés d'une fonction purement expressive et modulable selon l'état de l'émetteur, à celui de phonèmes fixes, arbitraires et dépourvus de sens par eux-mêmes, mais qui deviennent susceptibles de s'intégrer dans des monèmes construits par leur combinaison. Le phonème concourt alors à l'élaboration d'une autre signification, plus étroitement définie : la vocalisation passe alors du statut de signal (lié à l'état momentané de son émetteur)

à celui de signe linguistique de structure fixe et susceptible de s'intégrer dans des messages significatifs, indépendamment de l'état de l'émetteur.

Il est clair qu'une telle analogie, dans les fonctions bien différentes de construction d'outil et de communication sonore, suggère l'apparition équivalente (mais non forcément contemporaine pour autant) d'un fonctionnement humain finalisé, voire consciemment intentionnel, dans ces deux secteurs d'activité également apparus en milieu social. Exprimé parallèlement par une dénotation consciente dans la communication et la construction d'un outil, tout d'abord imaginé et non seulement perfectionné, ce changement radical caractérise le plein accès à la nature humaine.

Faute d'en connaître précisément la chronologie, il n'est pas possible d'affirmer la contemporanéité de ces acquisitions. Mais la genèse convergente de l'intentionnalité constructrice et de la Langue marquerait celle de l'Homme parlant, à la fois auteur d'un outillage diversifié et de recherches conscientes pour lui donner leur pleine efficacité. Un tel changement de statut des éclats vers une finalisation progressivement mieux circonscrite évoque celui des émissions vocales, passées du statut de cris, chargés d'une fonction purement expressive et modulable selon l'état de l'émetteur, à celui de phonèmes fixes, dépourvus de sens, mais susceptibles de s'intégrer dans des monèmes construits par leur combinaison. Comme l'éclat devenu outil, le phonème concourt alors à l'élaboration d'une autre signification, plus étroitement définie et la vocalisation tend alors de signal (lié à l'état momentané de son émetteur) à devenir signe linguistique de structure fixe et susceptible de s'intégrer dans des messages significatifs. Équivalence fonctionnelle n'indique pas nécessairement contemporanéité, mais accès à une expérience nouvelle. Plus qu'une hypothèse paléontologique précise et datée, c'est le sens même de cette transformation humanisante qu'indique cette analogie.

De telles analogies, dans les fonctions bien différentes de construction d'outil et de communication sonore, suggèrent l'apparition analogue (mais non forcément contemporaine pour autant) d'un fonctionnement humain finalisé, sinon consciemment intentionnel, dans ces deux secteurs d'activité. Exprimé parallèlement par une dénotation consciente dans la communication et la construction d'un objet d'abord imaginé et non seulement perfectionné, ce changement radical caractérise le plein accès à la nature humaine. Sans permettre de le dater avec précision, les indices artefactuels ne peuvent qu'en souligner l'importance. La genèse convergente de l'intentionnalité constructrice et de la Langue marquerait alors celle de l'Homme moderne

et le début de l'histoire humaine : au commencement fut alors le Logos (à la fois mot, concept et intelligence).

4. Les approches et leurs enjeux

L'enjeu de la double reconnaissance d'une continuité-rupture entre Animal et Humain concerne à la fois la forme de leurs relations et celle des traces que l'Humain a pu conserver de cette ascendance.

4.1. L'Animal et l'Homme

Si l'activité humaine a très tôt utilisé le monde animal comme ressource ou comme matière première, voire comme auxiliaire de chasse (Chien), les premières phases de la sédentarisation y ont sans doute ajouté une autre forme d'utilisation, par une domestication modifiant le comportement des animaux utilisés (Mouton, Chèvre, puis Porc et Vache) pour les rendre utiles et construire une approximative « d'hommestication » qui encadre et modèle leurs conduites naturelles pour les adapter aux besoins humains.

La relation entre les deux parties de la dyade homme-animal peut prendre une forme purement opératoire transformant l'animal en quelque ressource-outil sans modifier sensiblement son comportement naturel (Abeille, Ver à soie…). Mais toute proximité accrue entraine, en outre, une familiarisation et une adaptation de l'animal au milieu d'élevage qui lui est imposé (Porc, Mouton, Vache, Poule…).

Mais plus décisifs encore sont les changements apportés aux animaux « de compagnie » que peuvent être Chien, Cheval et Chat. Que les deux premiers, mais non le troisième, appartiennent à des espèces déjà sociales dans la nature n'affecte pas leur possibilité commune de se lier à un humain, en une forme de relation qui garde des traces de l'existence naturelle antérieure. Comme dans leurs conditions « sauvages », ce lien, chez Chien et Cheval, prend la forme d'une dominance sociale et le dresseur attentif sait à quel point il est décisif d'instituer un rapport hiérarchique entre l'animal et le maître, au bénéfice de ce dernier. Il est clair que le terme même de hiérarchie est d'origine humaine, mais des formes de relations, chez certaines espèces sociales animales, présentent une analogie suffisante avec des processus humains pour que le terme en tire une réelle légitimité fonctionnelle : relations établies au terme de combats ritualisés, production, chez le subordonné, d'une inhibition réversible…

Il apparaitrait pourtant déraisonnable à un berger, un chasseur ou un cavalier, de réduire son compagnon à un simple outil, privé de toute personnalité, voire de le réduire à son statut de dominé. Et plus encore, peut-être, pour le pur « compagnon de confort » que tend à constituer le Chat… Au-delà de simples récits anecdotiques, quelle peut donc être la nature du lien ainsi réalisé ? Il est facile de dire que, pour un berger ou un cavalier, l'image de son animal familier est aussi projection d'un besoin d'ami ou de collaborateur humain. Mais cette image n'est pas purement passive et sa sphère propre d'autonomie tend à donner à l'animal un rôle de co-sujet (Bolognini, 2011) dans la création d'une forme spécifique de relation, dont l'aspect purement instrumental rendrait imparfaitement compte.

Qu'en est-il donc pour l'animal concerné ? En quoi le conditionnement opéré marque-t-il une vie « psychique » animale ? Si le chien dérive d'une espèce sociale, vivant en une meute hiérarchiquement organisée pour la chasse comme pour la défense des jeunes, la relation avec le maître constitue clairement aussi une relation de subordination : et tous les dresseurs savent s'en souvenir. Mais que dit vraiment cette présentation « objective » des réactions de l'animal ? L'évitement « craintif » du loup subordonné devant l'approche du dominant de la meute ne s'identifie certes pas à la réponse du Chien à l'approche de son berger, ou du Chat à la caresse de son maître, qui marque alors une forme d'attachement dont le terme de subordination hiérarchique rend incomplètement compte. Bien inappropriés sont alors les termes objectifs utilisés par l'éthologiste en situation de nature. Si les animaux sont aujourd'hui reconnus comme « des êtres sensibles », cette sensibilité s'exprime aussi dans la sphère relationnelle, sous une forme positive ou négative. Quelle que soit la part de projection qui y concourt, les observations décrites comme « deuil » ou « rancune » chez des chiens, des chevaux, voire des éléphants ou des lions, pour anecdotiques qu'elles soient, n'en sont pas moins suggestives pour indiquer une forme d'affectivité relationnelle, qu'un Humain peut à l'occasion penser partager, en y ajoutant alors la part d'expression symbolique qui lui est propre. Les termes « objectifs » de punition ou de récompense, en termes behavioristes, ou de « nociceptifs », en termes écologiques, suggèrent une analogie avec les termes humains de désagréable ou de douloureux. La proximité de constats physiologiques ou comportementaux suggère l'existence aussi d'une douleur animale, au moins chez les espèces familières aujourd'hui domestiquées et connues de plus près.

Il est probable aussi que les processus d'attachement, définis objectivement par les éthologistes, comportent aussi quelque vécu intime, évidem-

ment non verbalisable, qui les rapproche de celui de l'Humain avec qui la relation est engagée. Le terme « d'hommestication », construit par Lacan, indique ainsi le modelage simultané des deux membres du couple homme-animal familier au cours même de leur familiarisation réciproque. L'efficacité thérapeutique d'un compagnonnage animal dans certaines pathologies psychiatriques (Bolognini, 2011) et, réciproquement, le rôle névrogène de certaines cruautés injustifiées envers l'animal, suggèrent une certaine empathie entre ces deux formes de psychisme, artificiellement rapprochées au-delà de la rupture radicale qui les différencie.

4.2. L'Animal dans l'Homme

Tout déplacement, toute intervention adaptée sur le monde implique à la fois une opération de traitement de signaux chargés d'un sens écologique et l'expression d'un dynamisme de l'organisme vivant en état de besoin (de motivation, de pulsion, voire de désir, selon la grille de lecture utilisée) et orienté vers une fonction de rééquilibration psychophysiologique, à valeur homéostatique. La gradation ici décrite représente une série, progressivement complexifiée, d'utilisation des paramètres de l'environnement au cours de ce processus. Ces paramètres passent par étapes du statut de déterminants immédiats à celui de signes symboliques impliquant une activité propre d'interprétation de l'organisme qui réagit.

Si réflexes et taxies peuvent être décrits par des mécanismes physiologiques, voire biochimiques, simples, leur fonction adaptative n'en représente pas moins un trait qui les inscrit dans le monde vivant et dont un modèle darwinien peut rendre compte. Déplacé hors de son cadre de vie auquel il est adapté, l'animal taxique utilise les indices à sa disposition pour le rejoindre, en un déplacement à fonction homéostatique. Un changement brusque du milieu stimulant (illumination ou obscurcissement) peut ainsi mettre fin à un déplacement phototaxique, le changement de l'environnement remplaçant alors l'exécution de la réponse qui tend normalement à l'atteindre. Parler alors du « sens » de ce comportement désigne à la fois sa fonction adaptative et le mécanisme de sa réalisation.

Les conduites instinctives introduisent progressivement les notions de forme stimulante, puis de forme signifiante, voire d'images, comme déclencheurs de réponses programmées. Ce déclenchement témoigne alors d'une dynamique interne résultant d'un besoin physiologique (besoin alimentaire, reproducteur, survie face à un péril…) sous la forme d'une motivation, ex-

primée en pulsions instinctives successives. Chaque pulsion se traduit à la fois par une sensibilisation à un stimulus significatif et un état de préparation à l'action, tous deux génétiquement codés. Si la motivation constitue un déséquilibre, moteur de l'activité, la réponse instinctive pleinement accomplie conduit à un état de satiété et de retour au repos. C'est alors la pleine exécution de l'acte instinctif, autant que la perception d'une situation résultante, qui a fonction homéostatique. Le premier aspect témoigne d'un certain « biofeedback », une certaine « fonction retour », de l'accomplissement d'un acte, qui peut se décrire neurophysiologiquement, tandis que le second marque une forme de sensibilité à la situation résultante, quelque « connaissance » de la situation immédiate, ouverte à une démarche de psychologie cognitive animale. La diversité des conduites instinctives montre des rôles diversement impératifs de ces deux aspects et sous-tend les démarches complémentaires d'une psychoéthologie et d'une psychologie cognitive. Leur combinaison forme un biofeed-back cognitif, modèle fondateur de tout apprentissage Skinnerien et base de toute compréhension biologique de l'activité de connaissance.

Chez un être humain, ayant accès à la Langue, le besoin prend la forme d'un désir, car que serait un désir sans désignation de son objet, sinon une simple pulsion ? La satiété devient alors satisfaction et l'ensemble des deux marque le dynamisme d'une vie humaine, voire d'une société humaine. Au niveau collectif, le désir devient projet, utopie ou projet rationnel selon le degré de confiance qui est apporté à la possibilité de sa satisfaction. La poursuite d'un projet collectif marque le dynamisme d'un groupe humain, même lorsque la diversité des objets désirés rend problématique leur pleine satisfaction, tant, pour l'activité humaine, « le monde est clos et le désir infini » (Cohen D., 2015). C'est pourtant la poursuite d'un projet commun, qui marque collectivement le « courage de vivre » d'une Société humaine, et une rationalité pleinement assumée sont recherche des moyens de poursuivre ce projet.

Parmi les images que peut discerner un animal, l'image du compagnon spécifique joue un rôle particulier selon un mode de sensorialité variable et la rencontre d'un autre représente un besoin dès les espèces primitivement sociales, où une interattraction rassemble les conspécifiques, indépendamment de tout autre besoin. Elle paraît à l'évidence dans les bancs de sardines ou de maquereaux, ou les vols d'étourneaux, stabilisés par des réactions optomotrices adaptées et se développe fortement dans les sociétés les mieux développées, d'Insectes ou de Vertébrés. Des interactions simples peuvent alors, par

leur combinaison, engendrer des résultantes complexes (Deneubourg *et al.*, 1986) mimant une forme d'intelligence collective dépourvue de toute conscience.

Chez les Primates, c'est le visage de l'autre qui joue le rôle principal dans la socialisation. Image fondatrice de tout développement des relations ultérieures, elle se caractérise par l'immédiateté de la réponse.

Il apparaît d'ailleurs qu'une telle attention préférentielle caractérise aussi les premières phases du développement humain : les capacités cognitives précoces, appréciées par les réponses observées, ne sont pas négligeables dès lors que l'on utilise une réponse adaptée à des capacités motrices encore immatures. Plus qu'à des stimuli élémentaires, ce sont des réponses générales à des formes qui prédominent, un peu à la manière des réponses aux leurres utilisés par les éthologistes. Particulièrement efficace à cet égard est la réponse précoce à une structure évoquant la forme d'un visage humain. Non seulement de telles formes, dès lors qu'elles sont présentées dans un champ visuel encore réduit, retiennent préférentiellement l'attention du nouveau-né, mais la perception suffisamment fréquente d'un visage capable d'expressions mobiles semble nécessaire à un développement normal du jeune bébé.

Cette importance spécifique du visage, très largement antérieure à toute reconnaissance individualisée, également présente d'ailleurs dans des espèces simiennes, représente une composante initiale de la socialité humaine qui a toute chance de marquer profondément toutes les conduites ultérieures, voire la reconnaissance plus individualisée des visages dès le troisième trimestre de vie. Cette image conditionne le développement de la vie affective, largement liée à une approche « imagée » de l'altérité, et secondairement reprise dans une conceptualisation rationalisée. Toute vie sociale humaine combine donc une approche rationnelle, linguistiquement organisée et attachée à la satisfaction d'un besoin, et un aspect imaginaire, plus proche en cela de l'animalité et nourrissant toutes les forces de l'affectivité.

Chez les mammifères, et notamment chez les primates, la perception du visage de l'Autre fonctionne très généralement comme un signal attractif pour l'animal isolé. Deux circonstances en font pourtant un déclencheur potentiel d'agressivité : ce sont les conduites territoriales et les rivalités hiérarchiques[5]. L'étranger, entrant sur un territoire, ou un rival potentiel, entrant dans un groupe hiérarchiquement organisé ou dans un Harem, déclenchent

5. Ou, plus spécifiquement chez les mâles, la concurrence pour l'accès au partenaire sexuel.

des attaques très vives, parfois mortelles. Qui dirait qu'une telle ascendance ne puisse aussi éclairer des aspects des conduites humaines ?

Conclusion

Deux notations principales se dégagent de cette étude.

La première est le lien qui est phylogénétiquement établi entre les caractéristiques d'un déclenchement de la motricité et la préfiguration de la cognition humaine. Hors les simples taxies où la réception joue le rôle décisif, les conduites instinctives, sont déjà plus profondément articulations d'actes, en un « programme » précablé, que successions de réponses immédiates à des formes successivement perçues. Dans toute conduite animale, coexistent un aspect de motivation, exprimant un besoin biologique, et une sensibilité à quelque déclencheur, en quelque organisation « instinctive » génétiquement réglée, dont la rigueur tend progressivement à s'effacer au profit d'une certaine plasticité adaptative individuellement développée.

Chez nombre d'espèces, et notamment chez les vertébrés supérieurs, des formes d'intégration sensorimotrice adaptative ont paru justifier une grille d'interprétation cognitiviste, en une « théorie de l'esprit » associant à l'adaptation sensorimotrice une activité représentative, de forme combinatoire, susceptible d'être étudiée par une véritable psychologie cognitive animale, voire la possibilité pour un animal d'acquérir une certaine représentation de l'activité représentative de l'autre pour y adapter sa propre conduite. Associant une réactivité immédiate à l'image d'un compagnon privilégié à une stratégie diversement adaptée aux circonstances, la conduite animale combine ces deux aspects en un mode de fonctionnement « psychique » conditionnant la satisfaction d'un besoin individuel au développement d'un comportement cognitif.

C'est au cours d'une phylogenèse ayant abouti à l'espèce humaine que s'est produite la substitution d'une transmission culturelle à la transmission génétique et, parallèlement, le développement d'une Langue, d'une activité rationnelle et d'une intelligence pratique, puis conceptualisée, en place des précédentes conduites instinctives.

Dès lors, la socialité humaine se construit sur une forme nouvelle d'activité, dans laquelle les supports de communication prennent valeur de signes symboliques, inscrits dans un vocabulaire strictement défini, et associés en

un message porteur d'un sens qui prend une fonction d'ordonnateur de l'activité collective. Le couple pulsion-réaction finalisée cède la place au couple désir-réponse rationnelle, que l'imprégnation sociale transforme en un projet collectif.

Parallèlement, le rôle déclencheur du visage de l'autre, comme médium de socialisation, échappe aussi à sa signification proprement instinctive pour se transformer potentiellement en une éthique du respect de l'autre, reçue comme préalable à toute philosophie de compréhension du monde (Levinas 1972, 1982 ; Monnet, 2016).

Un traitement humanisé de cette différence/complémentarité débouche en fin de compte sur la coexistence, dans l'esprit humain, d'un monde d'images, basé sur l'analogie et la ressemblance, voire l'identification, et d'un monde d'intentionnalité conceptuelle, formé d'actes articulés en des conduites adaptées, supposées intelligentes.

Il n'est pas sans enjeu, dans une perspective projective, de souligner cette double inscription, dans la nature humaine, de telles caractérisations fonctionnelles liées à un passé animal préhumain et à une innovation conceptuelle. Si la structuration d'une Langue conditionne la logique opératoire dont la pensée rationnelle est issue, toute la sphère affective, comme une certaine intuition holiste du visage de l'Autre, marque profondément la part « imagée » de l'être humain et toute son affectivité. Cette trace, marquée dans l'animalité, est tout aussi décisive, pour le développement des conduites humaines, que la part « machinale » soulignée par Descartes, que la genèse d'une rationalité opératoire, que l'intuition du *Cogito*, que l'avantage génétique souligné par les sociobiologistes, ou l'intériorisation des principes kantiens d'une Raison pure. Si la perception du visage de l'Autre reste à la base d'une conduite éthique, et par là constitutive d'une philosophie première (Levinas, 1972, 1982), des formes de rivalité (hiérarchique ou territoriale) peuvent pourtant s'opposer à cette attirance première. À une époque marquée par une certaine crise d'un rationalisme, analytique et concurrentiel, c'est peut-être aussi un certain retour à une perception fondatrice d'un visage de l'Autre, vu comme base d'un nouveau projet social, ni territorial ni hiérarchique, qui se montre source d'un progrès possible. De la sorte, et paradoxalement, selon une formule de Dominique Lestel (2010), c'est aussi un peu l'Animal qui est l'avenir de l'Homme.

Bibliographie

Bersini, H., Kuntz, P., & Snyers, D. (1994). Algorithme et intelligence collective. In E. Bonabeau & G. Theraulaz (Eds). *Intelligence collective* (pp. 203-223). Paris : Hermès.

Bolognini, S. (2011). Animaux symboliques, animaux intrapsychiques, *Revue française de psychanalyse,* 75(1), 103-120.

Bréhaux, K. (2017). De la théorie des affects à celle des neurosciences. *Bulletin d'histoire et d'épistémologie des sciences de la vie*, 24(1).

Brentano, F. C. (1944). *La psychologie d'un point de vue empirique* (trad. M. de Candillac). Paris : Aubier Montaigne. (édit. originale : 1874).

Buytendijk, F. J. J. (1952). *Traité de psychologie animale*. Paris : Presses universitaires de France.

Buytendijk, F. J. J. (1965). *Homme et animal : essai de psychologie comparée* (trad. R. Laureillard). Paris : Gallimard. (édit. originale : 1958).

Cassirer, E. (1988). *Essai sur l'Homme* (trad. R. Massa). Paris : Odile Jacob. 1944.

Cohen, D. (2015). *Le monde est clos et le désir infini*. Paris : Albin Michel.

Cohen, L. (2009). *Pourquoi les Chimpanzés ne parlent pas, et 30 autres questions sur le cerveau*. Paris : Odile Jacob.

Damasio, A. R. (1999). *Le sentiment même de soi : corps, émotions, conscience*. Paris : Odile Jacob.

Damasio, A. R. (2010). Les trois niveaux de conscience, *Science et Avenir*, 770, 40-43.

Darwin, Ch. (1882). *De l'origine des espèces par sélection naturelle* (trad. C. Royer). Flammarion : Paris. (édit. originale : 1859).

Darwin, Ch. (1981). *La descendance de l'Homme et la sélection sexuelle* (trad. E. Barbier ; vols. 1-2). Paris : Complexe. (édit. originale : 1871).

Davidson, D. (2002). Mental Events. In : Fisette et Poirier (Éds.). *Philosophie de l'esprit : psychologie du sens commun et philosophie de l'esprit* (pp. 207-227). Paris : Vrin. (édit. originale : 1980).

Dawkins, R. (2003). *Le gène égoïste*. Paris : Odile Jacob.

Deneubourg, J. L., Aron, S., Goss, S., Pasteels, J. M., & Duerinck G. (1986). Random behaviour, amplification processes and number of participants: how they contribute to foraging properties of ants? *Physical D.,* 22, 176-186.

Descombes, V. (2014). *Le parler de soi*. Paris : Gallimard.

Dretske, F. (1988). *Explaining behavior, reasons in a world of causes*. Cambridge, MA : A Bradford Book.

Engel, P. (1992). La croyance des animaux. In J. Gervet, P. Livet, & A. Tête (Eds). *La représentation animale* (pp. 59-76). Nancy : Presses universitaires de Nancy.

Engel, P. (1994). *Introduction à la philosophie de l'esprit*. Paris : La Découverte.

Foucault, M. (2016). *L'archéologie du savoir*. Paris : Gallimard. (édit. originale : 1969).

Fouts, R., & Mills, S. T. (1998). *L'école des Chimpanzés : ce qu'ils nous apprennent sur l'Homme* (trad.: C. C. Farny). Paris : Jean-Claude Lattès. (édit. originale : 1997).

Gallo, A. (1988). *Pour une approche psychoéthologique du comportement animal* (thèse de Doctorat d'État). Université de Toulouse.

Gallo, A., & Cuq, Ch. (1992). Une approche psychoéthologique de la cognition animale. In J. Gervet, P. Livet, & A. Tête (Éds). *La représentation animale* (pp. 117-126). Nancy : Presses universitaires de Nancy.

Gervet, J. (1992). La représentation animale représentée : questions de méthode et d'objet. In J. Gervet, P. Livet, & A. Tête (Éds.). *La représentation animale* (pp. 97-100). Nancy : Presses universitaires de Nancy.

Gervet J. et Gallo A. (1993). Les modèles de causalité dans l'éthologie du XXe siècle. In : *L'histoire de la connaissance du comportement animal* (pp. 371-404). Colloque international. Université de Liège.

Gervet, J., & Truc, C. (1990). Organisation de la phase de paralysation dans le cycle nidificateur de l'Ammophile *Podalonia hirsuta* Scopoli. *Annales des sciences naturelles, zoologie*, 13e série, 11, 73-92.

Gervet, J. & Vauclair, J. (1999). Pour une approche de l'« Esprit » animal : psychologie de la cognition et/ou éthologie de l'action. *Psychologie française*, 1999, 44(3), 233-244.

Grassé, P. P. (1946). Sociétés animales effets de groupe. *Expérientia,* 2, 77-82.

Grassé, P. P. (1958). L'effet de groupe sur l'animal et sur l'homme. *Journal de psychologie normale et pathologique,* 119-148.

Gopnik, A. (2010). Comment pensent les bébés ? *Cerveau et Psycho*, 2, 22-27.

Hamilton, W. D. (1964). The genetical Evolution of Social behaviour, *Journal of Theoretical Biology*, 7, 1-52.

Hofstadter, D. (2008). *Je suis une boucle étrange*. Paris : Dunod.

Jackendoff, R. (1987). *Consciousness and the Computational Mind*. Cambridge, MA, M.I.T. Press.

Lacan, J. (1966). Propos sur la causalité psychique. In : Lacan, J. *Écrits* (pp. 151-193). Seuil : Paris. (édit. originale : 1946).

Leibowitz, Y. (2010). *Corps et esprit*. Paris : Éditions du Cerf.

Lestel, D. (1987). *L'animalité*. Paris : L'Herne.

Lestel, D. (2001). *Les origines animales de la culture*. Paris : Flammarion.

Lestel, D. (2010). *L'animal est l'avenir de l'homme*. Paris : Fayard.

Levinas, E. (1972). *Humanisme de l'autre Homme*. Paris : Fata Morgana.

Levinas, E. (1982). *L'éthique comme philosophie première*. Paris : Payot.

Livet, P. (1992). Représentations, comportements et psychologie expérimentale populaire. In J. Gervet, P. Livet, & A. Tête (Éds.). *La représentation animale* (pp. 77-96). Nancy : Presses universitaires de Nancy.

Livet, P. (1992). Éléments pour une discussion. In J. Gervet, P. Livet, & A. Tête (Eds.). *La représentation animale* (pp. 203-208). Nancy : Presses universitaires de Nancy.

Lorenz, C. (1984). *Les fondements de l'éthologie* (trad. J. Etoré). Paris : Flammarion. (édit. originale : 1978).

Maine de Biran, P. (1932). Détermination du fait primitif du sens intime. In P. Maine de Biran, *Œuvres de Maine de Biran* (pp. 175-182) P. Tisserand (Éd.). Paris : Félix Alcan. (édit. originale : 1812).

Mandelbrot, B. (2010). *Les objets fractals : forme, hasard et dimension*. Paris : Flammarion.

Maynard-Smith, W. M. (1964). Group selection and Kin-Selection, *Nature*, 201, 1145-1147.

Merleau-Ponty, M. (1963). *Structure du comportement*. Paris : Presses universitaires de France. (édit. originale : 1942).

Monnet, M. (2016). *Emmanuel Levinas, la relation à l'autre*. Toulouse : Domini-Press et Presses universitaires de Toulouse.

Nietzsche, F. (1980). *Généalogie de la morale* (trad. : A. Kremmer-Marietti). Union générale d'éditions : Paris. (édit. originale : 1887).

Paillard, J. (1994). La conscience. In M. Richelle, J. Réquin, & M. Robert (Eds.). *Traité de psychologie expérimentale* (pp. 639-684). Paris : Presses universitaires de France.

Peirce, Ch. S. (1978). *Écrits sur le signe* (trad. Delevalle). Paris : Seuil.

Premack, D., & A. Premack, A. (2003). *Le bébé, le Singe et l'Homme*. Paris : Odile Jacob.

Proust J. (1997). *Comment l'esprit vient aux bêtes*. Paris : Gallimard.

Rizzolatti, G., & Sinigaglia, C. (2007). *Les neurones miroirs*. Paris : Odile Jacob.

Saussure, F. de (1976). *Cours de linguistique générale*. Paris : Payot.

Scapini, F. (1999). Tendances initiales et ajustement des systèmes d'orientation chez les Talitres. In J. Gervet & Pratte (Eds.). *Éléments d'éthologie cognitive* (pp. 143-162). Paris : Hermès.

Sève, L. (1996). *Marxisme et théorie de la personnalité* (5e édit.). Paris : Éditions sociales. (édit. originale : 1968).

Spinoza, B. (1965). *Éthique*. In B. Spinoza, *Œuvres,* tome 3. Paris : Garnier-Frères. (édit. originale : 1661).

Strauss, E. (1989). *Du sens des sens* (trad. G. Thines et J. P. Legrand). J. Million : Grenoble. (édit. originale : 1935).

Stewart, J., & Varela, F. (1994). L'intelligence collective des lymphocytes : le système immunitaire est-il cognitif ? In E. Bonabeau, & G. Theraulaz (Éds.). *L'intelligence collective* (pp. 145-156). Paris : Hermès.

Taïeb, H. (2016). Intentionnalité et krisis dans la réception de Métaphysique D. *Revue philosophique de Louvain,* 15, 421-444.

Thom, R. (1980). *Modèles mathématiques de la morphogenèse*. Paris : Ch. Bourgeois.

Thom, R. (1988). *Esquisse d'une sémiophysique*. Paris : Interéditions.

Tillich, P. de (1952). *The courage to be*. Yale University Press : New Haven. Éd. util. : *Le courage d'être* (trad. F. Chapey). Paris : Casterman. (édit. originale : 1967).

Tinbergen, N. (1953). *L'étude de l'instinct*. Paris : Payot. (édit. originale : 1951).

Tort, P. (1996). *Dictionnaire du Darwinisme et de l'évolution*. 3 vol. P.U.F.

Uexkûll von, J. (1965). *Mondes animaux et monde humain*. Paris : Gonthier.

Van Lawick-Goodall, J. (1971). *Les chimpanzés et moi*. Paris : Stock.

Vauclair, J. (1994). Les représentations chez l'animal. In M. Richelle, J. Réquin, & M. Robert (Éds.). *Traité de psychologie expérimentale*. Vol. 2 (pp. 225-270). Paris : Presses universitaires de France.

Vauclair, J., Fagot, J., & Hopkins, W. D. (1993). Rotation of mental images in Baboons when the visual input is directed to the left cerebral hemisphere, *Psychological Science*, 4(2), 99-103.

Vauclair, J., & Kreutzer, M. (2004). *L'éthologie cognitive*. Paris : Ophrys.

Vidal, J. M. (1992). Évolution des psychismes et évolution des organismes, In P. Tort (Éd.). *Darwinisme et société* (pp. 519-548). Paris : Presses universitaires de France.

Vidal, J. M. (2011). La tiercéité symbolique, fondement de la discontinuité psychique entre animaux et humains : éclairage par la désymbolisation autistique. *Revue française de psychanalyse* 75(1), 17-51.

Waal, F. de (1990). *La politique du Chimpanzé*. Monaco : Éditions du Rocher.

Wynne-Edwards, V. C. (1962). *Animal dispersion in relation to social behavior*. Edinburg : Oliver and Roy.

Wynne-Edwards, V. C. (1986). *Evolution through Group Selection*. Palo-Alto : Blackwell.

Revue des Questions Scientifiques, 2018, 189 (1-2) : 101-201

« Comme la chair rôtie à la broche… »

Heurs et malheurs d'un célèbre argument de convenance en faveur du mouvement de rotation diurne de la Terre et posant la question de la finalité du monde

(XIVe-XIXe siècles)

Jean-François Stoffel
Haute école Louvain-en-Hainaut
Catégorie paramédicale – Campus de Montignies
stoffeljf@helha.be

À Benoît Patar

Résumé. — Attestée à partir du XIVe siècle, l'analogie de la chair rôtie à la broche soutient que vouloir faire tourner le Soleil autour d'une Terre rigoureusement immobile serait aussi ridicule que prétendre faire tourner le feu à l'entour de la viande à rôtir, car c'est au contraire à la Terre qu'il convient de tourner sur elle-même pour profiter, en tout point de sa surface, des bienfaits du Soleil, tout comme c'est à la viande qu'il incombe de tourner à la broche devant un feu immobile pour être parfaitement cuite de tous les côtés. Destinée, dans le géocentrisme, à souligner la plausibilité logique de la rotation de la Terre et, dans l'héliocentrisme, à soutenir la réalité physique de cette même rotation terrestre, cette analogie ne suscite plus guère, aujourd'hui, qu'un sourire amusé, voire condescendant. Pourtant, sa persistance sur la longue durée et sa fréquence d'utilisation — du XIVe au XIXe siècle, nous avons retrouvé sa mention chez pas moins de 45 auteurs différents — nous incitent à, enfin, lui prêter attention. On s'aperçoit alors qu'outre sa portée explicitement cosmologique, elle pose, à sa manière, la question de la finalité du monde naturel : si celui-ci a été conçu en fonction de l'homme, il est normal, en dépit de ce que recommande cette analogie, que le Soleil se mette au service de plus important que lui en tournant, au profit des hommes, autour de la Terre ; dans le cas contraire, comme une telle entorse à la règle de bon sens illustrée par cette analogie ne peut plus être ni justifiée ni tolérée, il revient à la Terre de se mouvoir autour du Soleil. Retracer, six siècles durant, les péripéties de cette analogie, ce n'est donc pas seulement reconstituer l'histoire,

largement oubliée, d'une analogie désormais désuète, mais c'est également retrouver le sens profond, dorénavant incompréhensible, qui fût le sien. En décrivant comment ce sens s'est progressivement perdu, c'est enfin donner à comprendre pourquoi, aujourd'hui, nous ne sommes plus capables que d'un sourire amusé lorsque, au détour d'un texte, nous la rencontrons !

Abstract. — First recorded in the 14th century, the analogy of spit-roast meat argues that expecting the Sun to rotate around a strictly immobile Earth would be just as ludicrous as trying to move the fire around the roasting meat. On the contrary, it should be the Earth that spins upon itself in order to glean, from all possible angles, all the benefits of the Sun, just as it is the meat's responsibility to turn on the spit before the motionless fire for it to be perfectly cooked on all sides. Aimed at demonstrating, in geocentricism, the plausibility of the rotation of the Earth and, in heliocentrism, at supporting the physical reality of this terrestrial rotation, nowadays this analogy barely elicits more than an amused, or even condescending, smile. However, its continued long-term existence and its frequency of use — from the 14th to the 19th century, we found it mentioned by no less than 45 different authors — incited us to finally pay attention to it. We then noticed that beyond its explicitly cosmological scope, it raises, in its own way, the question of the purpose of the natural world: had the latter been conceived based upon humankind, then it is normal, despite what this analogy advocates, that the Sun is at the service of something more important than itself by rotating, to the profit of humankind, around the Earth; conversely, since such an infringement of the rule of common sense, as illustrated by this analogy, can neither be justified nor tolerated, it is up to the Earth to move around the Sun. Tracing the vicissitudes of this analogy, over 6 centuries, is thus not only about reconstructing the largely forgotten history of a presently obsolete analogy, but also about discovering the deeper meaning, henceforth incomprehensible, behind it. In describing how this meaning became progressively lost, one can finally provide an understanding of why, in the present day, we are no longer capable of more than an amused smile when happening upon it!

Plan de l'article

1. Introduction

Pour l'avoir rencontrée, entre autres possibilités, chez Nicole Oresme, le savant français du XIVe siècle, ou Cyrano de Bergerac, l'illustre représentant du courant libertin de la première moitié du XVIIe siècle; chez Kepler, l'inoubliable auteur des trois lois qui portent son nom, ou Joseph de Maistre, le ministre plénipotentiaire de Sardaigne en Russie au début du XIXe siècle; chez Pierre d'Ailly, le prélat prolifique de la fin du XIVe siècle, ou Tobias Cohn, un médecin juif polonais de la seconde partie du XVIIe siècle; chez Mikhaïl Vasilievitch Lomonossov, ce polymathe russe du XVIIIe siècle qui passait pour être, à lui seul, la première université de Russie, ou encore chez Camille Flammarion, le célèbre vulgarisateur du XIXe siècle qui a initié tant de générations aux mystères du ciel, tout historien de l'astronomie connaît cette célèbre analogie : vouloir faire tourner le Soleil autour d'une Terre rigoureusement immobile serait aussi ridicule que prétendre faire tourner le feu à l'entour de la viande à rôtir, car c'est au contraire à la Terre qu'il convient de se tourner pour profiter, en tout point de sa surface, des bienfaits du Soleil, tout comme c'est à la viande qu'il incombe de tourner à la broche devant un feu immobile pour être parfaitement cuite de tous les côtés.

Présentée au XIVe siècle à l'appui du mouvement de rotation diurne de la Terre qui, à cette époque, fait l'objet d'un examen particulièrement attentif, cette analogie ne suscite plus guère, aujourd'hui, qu'un sourire amusé, voire condescendant. Elle semble d'ailleurs n'avoir jamais été étudiée pour elle-même : après avoir écarté deux articles dépourvus de toute perspective historique1, il ne reste plus qu'un article en russe, de deux pages, véritablement consacré à notre sujet[2] et un article, plus récent, qui, de manière intéressante, retrace le contexte dans lequel s'insère la diatribe menée par Louis-Sébastien

1. Consacrés tous les deux à l'analogie de l'« alouette rôtie » chez Cyrano de Bergerac, rien ne laisse à penser que leurs auteurs ont la moindre conscience des riches antécédents historiques de cette comparaison. Le premier, afin d'évaluer la pertinence de celle-ci (!), étudie les cinq sèmes de l'expression « alouette rôtie » que sont, selon lui, « oiseau », « faune indigène », « aile », « mort » et « nourriture » (Wood, 1984). Le second, plus justement, commente de façon critique le premier en faisant remarquer que la comparaison de la Terre à une alouette « sert moins à nous montrer directement l'univers héliocentrique » (entendez, à le prouver) « qu'à nous persuader de la possibilité d'un tel univers » (Norman, 1984, pp. 133-134).
2. Cf. Zubov, 1963. Partant des vers humoristiques de M. V. Lomonossov faisant allusion, en 1761, à notre analogie, l'auteur de cet articulet s'attache à retrouver les sources qui purent l'inspirer, en remontant à Cyrano de Bergerac, à Philippe van Lansberge et, finalement, à Nicole Oresme, sans pouvoir remonter davantage.

Mercier contre Copernic et Newton, mais sans véritablement approfondir son utilisation de notre analogie[3]. Aussi, les commentateurs qui la rencontrent se contentent de renvoyer, brièvement et inlassablement, toujours aux mêmes textes — Oresme, Cyrano de Bergerac, Renaudot et, plus rarement, Kepler ou Galilée —, à moins que, ignorant tout simplement les antécédents historiques de cette analogie, ils s'imaginent, trompés par l'auteur qu'ils sont en train d'étudier, qu'elle est le fruit de son imagination — nous songeons ici au cas de Mercier[4]. Pourtant, la persistance de cette analogie sur la longue durée et la fréquence de son utilisation — du XIVe au XIXe siècle, nous avons retrouvé sa mention chez pas moins de 45 auteurs[5] totalisant plus de 60 occurrences différentes[6] — devraient suffire à mériter notre attention[7]. Mieux : bien que cette analogie soit évidemment dépourvue de toute pertinence proprement scientifique, elle présente l'intérêt de soulever — à sa manière il est vrai, ou plutôt à la manière de ceux qui l'ont forgée — une question véritablement existentielle : le monde a-t-il été formé pour l'homme (soit une conviction que nous qualifierons d'anthropofinaliste[8]) ou bien est-il complètement indifférent à son existence ? Dans le premier cas, une entorse à la règle de bon sens illustrée par notre analogie sera acceptée et justifiée en faisant

3. Cf. Castonguay-Bélanger, 2012, en particulier p. 51 pour notre analogie.
4. Signalons toutefois que J. Castonguay-Bélanger est, lui, conscient que la comparaison utilisée par L.-S. Mercier n'est pas « une création entièrement originale », puisqu'elle se trouve déjà chez Cyrano de Bergerac (Castonguay-Bélanger, 2012, p. 51 et n. 3).
5. Notre corpus d'auteurs mentionnant cette analogie est composé, chronologiquement, comme suit : Themon Juif, Albert de Saxe, Pierre d'Ailly, N. Oresme, Anonyme clm 488, Anonyme clm 24809, J. Schöner, P. A. Foscarini, J. Kepler, B. Amico, Fr. de La Mothe Le Vayer, Ph. van Lansberge, J. van Lansberge, J.-B. Morin, L. Froidmont, Galilée, Th. Renaudot, Ch. Sorel, P. Gassendi, B. Mastri da Meldola et B. Belluti, G. B. Riccioli, H. de Lionne, D. Lipstorp, S. de Cyrano de Bergerac, H. Fabri, I. Cardoso, Fr. Eschinardi, Fr. Geiger, T. Cohn, G.-Ch. Le Gendre, de Joannis, A. Kitowicz, M. V. Lomonossov, L.-S. Mercier, J. de Maistre, J.-B. Salgues, J.-P. Gallais, Ch. Rouy, J.-B. Delambre, Ch.-Y. Cousin d'Avallon, A. von Humboldt, H. Lecouturier, C. Flammarion et enfin J. Verne.
6. Nous avons compté comme étant une et une seule occurrence la présence d'au moins une mention de notre analogie par entité bibliographique distincte (un livre, un article, etc.). Par « mention », nous avons entendu tout passage présentant ou faisant allusion à notre analogie, à ses variantes, ou aux autres exemples de notre principe de convenance avec lesquels notre analogie peut être aisément confondue. La présence, dans un texte faisant allusion à la rotation de la Terre, du terme « tournebroche » ou de l'expression « poulet à la broche » suffit donc pour que cette publication soit considérée comme une occurrence.
7. Nous sommes en effet loin d'un « argument de convenance avancé quelque fois depuis Oresme » (Mayaud, 2005, vol. 4, p. 379, n. 11).
8. Par ce terme, nous entendons la valorisation de l'homme en tant que fin ultime et cause finale du monde physique, lequel est donc institué pour être à son service.

valoir qu'il incombe au Soleil de se mettre au service de plus important que lui en tournant, au profit de l'homme, autour de la Terre. Dans le second cas, une telle infraction, injustifiable, ne pourra être tolérée. Retracer, six siècles durant, les péripéties de cette analogie, comme le propose cet article, ce n'est donc pas seulement reconstituer l'histoire, largement oubliée, d'une analogie désormais désuète, mais c'est également retrouver le sens profond, dorénavant incompréhensible, qui fut le sien. En décrivant comment ce sens s'est progressivement perdu, c'est enfin donner à comprendre pourquoi, aujourd'hui, nous ne sommes plus capables que d'un sourire amusé lorsque, au détour d'un texte, nous la rencontrons !

2. Signification et portée de cette analogie

2.1. Ambiguïté du verbe « tourner »

En dépit de sa simplicité apparente — il ne s'agit somme toute que d'une chair en train de rôtir à la broche — et de son origine qui fait penser davantage à la chaleur des cuisines qu'à l'ambiance feutrée des bibliothèques les mieux fréquentées, la signification et la portée de cette analogie n'ont pas toujours été bien comprises ni par les savants qui l'ont mentionnée[9] ni par les commentateurs qui l'ont rencontrée[10]. Reconnaissons d'emblée que le

9. Donnons un seul exemple. Dans son article à l'occasion du premier cinquantenaire de l'expérience de Foucault, l'ingénieur et pamphlétaire français Maxime Vuillaume (1844-1925) ramène l'inconvenance de notre analogie à l'humiliation d'être comparé à « un poulet à la broche » (Vuillaume, 1902, p. 2). L'humiliation en question n'est évidemment pas celle d'une assimilation de l'homme à un poulet, mais bien de voir notre planète être désormais obligée de se mouvoir pour obtenir ce dont elle a besoin.

10. Ignorant tout (ou presque) de cette analogie, bon nombre de commentateurs y voient : 1°) une invention de coperniciens désireux de défendre (indirectement) leur système cosmologique en ridiculisant l'ancien système qui lui fait face ; et/ou 2°) une occasion d'amuser plus que d'instruire, en l'occurrence un rapprochement qui n'a rien de bien sérieux (ce que contredit bien sûr notre étude) ; et/ou 3°) une association entre astronomie et gastronomie par laquelle on opposerait à l'inutilité de la science des astres le caractère indispensable de l'art qui assure la subsistance de l'homme ! Pour nous tenir à 1°), signalons que B. S. Ridgely, ignorant que notre analogie est apparue au XIV[e] siècle dans un cadre strictement géocentriste, en fait un dérivé de l'analogie proprement copernicienne établissant le Soleil comme un luminaire nécessairement situé au centre du monde afin de pouvoir illuminer le tout simultanément (cf. Copernic, 2015, vol. 2, p. 38 ; Ridgely, 1965, p. 567). Cet auteur répète la même association, voire confusion, de ces deux analogies dans Ridgely, 1956, p. 17 et n. 24. Dans une même veine, il est historiquement et scientifiquement erroné d'écrire qu'il s'agit « d'une image jadis *élaborée* par les partisans du

verbe « tourner », constamment utilisé pour l'exprimer, est intrinsèquement ambigu, puisqu'il peut tout aussi bien désigner un mouvement de rotation qu'un mouvement de révolution. Au sein de cette analogie, il prend d'ailleurs successivement chacune de ces deux acceptions : lorsqu'il s'applique à la Terre ou au rôti, il est censé désigner un mouvement de rotation, alors que lorsqu'il concerne le Soleil, le ciel, ou le feu rôtisseur, il est supposé indiquer un mouvement de révolution. Pour remédier à ces ambiguïtés, nous éviterons, autant que possible, l'usage de ce verbe imprécis et nous utiliserons les expressions de « rotation diurne », dans le cas de la Terre, et de « rotation propre », lorsque l'astre considéré est différent, ou même, plus simplement, le terme de « rotation » pour désigner le mouvement qu'un astre fait autour d'un axe fixe passant par son propre centre de masse. Ce terme de « rotation » sera strictement opposé à celui de « révolution », utilisé pour signifier le mouvement orbital qui amène un astre à repasser, à intervalles réguliers, par le même point : par exemple, la « révolution annuelle » de la Terre. Un mouvement de rotation pouvant être envisagé ou attribué à un astre (y compris la Terre) dans le cadre de différents systèmes cosmologiques (le géocentrisme, l'héliocentrisme, le géohéliocentrisme…) — et ce, contrairement à l'idée reçue selon laquelle l'attribution d'un mouvement de rotation à la Terre est caractéristique d'une adhésion à la théorie copernicienne (McColley, 1937, pp. 401-402) —, nous préciserons, le cas échéant, le contexte dans lequel nous nous trouvons en ajoutant, au terme « rotation », l'adjectif permettant d'identifier le système cosmologique spécifiquement concerné : par exemple, « la rotation géocentrique de la Terre ».

2.2. Signification et portée de l'analogie

Ces rappels terminologiques étant faits, nous pouvons reprendre la question de la véritable signification de notre analogie. Suite au constat selon lequel il est possible d'obtenir une viande parfaitement cuite de tous les côtés de deux manières différentes — soit en la faisant tourner à la broche devant un feu immobile (rotation), soit en la laissant immobile et en faisant orbiter le feu autour d'elle (révolution) —, cette analogie conduit à remarquer, dans un premier temps, que la première solution est naturelle, alors que la seconde est déraisonnable. Dans un second temps, elle invite à penser que, de la même façon, il serait absurde d'attribuer au Soleil un mouvement de

système copernicien pour *railler* le géocentrisme » (Castonguay-Bélanger, 2012, p. 51). Pour des exemples plus déconcertants, cf. Wood, 1984, partiellement corrigé par Norman, 1984.

révolution autour d'une Terre parfaitement immobile, puisque le même effet peut être obtenu, plus naturellement, en octroyant un mouvement de rotation à la Terre et en laissant le Soleil immobile.

Quant à sa portée générale, il convient sans doute de la différencier selon l'époque considérée. Avant Copernic, il s'agit de faire ressortir la plausibilité logique de l'attribution d'un mouvement de rotation à la Terre. Après Copernic, il ne s'agit évidemment pas de donner une preuve, ni directe ni indirecte, de la rotation de la Terre et/ou de l'héliocentrisme, mais seulement de rendre plus « naturel », en tirant parti de ce que nous trouvons « naturel » ici-bas, un mouvement si radicalement opposé à ce que nous pouvons expérimenter par nos sens. Bref, de le rendre davantage pensable en vue de faciliter son acceptation ultérieure sur base d'arguments plus scientifiques !

2.3. Présupposés et justification de l'analogie

Pour pouvoir juger laquelle des deux solutions peut être qualifiée de « naturelle » ou de « déraisonnable », cette analogie met en œuvre deux présupposés et tire, de l'un d'eux, le principe de convenance qui guidera son jugement. Le premier présupposé, qui permet de passer de la première étape du raisonnement que nous venons de rappeler à la seconde, consiste à croire que ce qui vaut pour le monde sublunaire est également valable pour le monde céleste. Le deuxième présupposé consiste à estimer que le repos est plus noble que le mouvement[11]. C'est de ce dernier présupposé que résulte le principe de convenance dont se réclame notre analogie, à savoir : il incombe à l'être indigent (en l'occurrence le rôti et la Terre), et non à l'être comblé (à savoir, le feu rôtisseur et le Soleil), de faire ce qu'il faut (c'est-à-dire de se mettre dans la disposition la plus adéquate) pour obtenir, de l'autre, ce qui lui manque ; il revient, par conséquent, à l'être indigent d'être actif, et donc en mouvement, quand l'être comblé, n'ayant besoin de rien, peut se permettre, lui, de rester passif et donc immobile.

2.4. Portée cosmologique de l'analogie

À celui qui lui accorde une certaine pertinence, cette analogie a donc pour effet d'imposer deux contraintes précises à tout système cosmologique.

11. Copernic lui-même rappelle ce topos de la philosophie naturelle en écrivant que « la condition d'immobilité est tenue pour plus noble et plus divine que celle de changement et d'instabilité », d'où il s'ensuit que « la condition de changement, pour cette raison, convient mieux à la Terre qu'au monde » (Copernic, 2015, vol. 2, p. 31).

Premièrement, il faut nécessairement attribuer un mouvement local[12] et manifeste à la Terre (géocinétisme), conformément à l'activité qu'elle doit manifester suite à son indigence, tout comme il faut impérativement accorder une parfaite immobilité au Soleil (héliostatisme), en adéquation avec la passivité qui doit résulter de son état de satiété et donc de perfection. Deuxièmement, étant donné le manque spécifique à combler (à savoir bénéficier, avec mesure, des bienfaits du Soleil et, en particulier, de sa chaleur), il importe d'attribuer à la Terre non pas n'importe quel type de mouvement local (un mouvement rectiligne par exemple), mais bien le seul et unique mouvement de rotation (du moins si l'on en juge d'après notre analogie). On constate dès lors que celle-ci ne porte pas, en tant que telle, sur la position respective des corps concernés (elle ne définit pas, par exemple, lequel des deux doit être au centre), mais bien sur leur état de repos ou de mouvement. Par conséquent, et contrairement à une idée reçue, cette analogie n'a pas pour vocation de condamner le géocentrisme (dans la mesure où il accorde une position centrale à la Terre) ni d'imposer l'héliocentrisme (en ce qu'il lui ôte une telle position), mais bien de veiller à ce que soient respectés, au sein de tout système cosmologique, un certain géocinétisme et un rigoureux héliostatisme.

En prenant pour critère cette double exigence, nous pouvons regrouper les différents systèmes cosmologiques en trois catégories : 1°) les non-coperniciens (ni rotation ni révolution de la Terre, mais révolution du Soleil), dont font partie le géocentrisme classique et le système tychonien[13] ; 2°) les semi-coperniciens[14] (rotation terrestre et révolution solaire), illustrés notamment par le système semi-tychonien ; et enfin 3°) les coperniciens (rotation et révolution terrestres, immobilité solaire). Il apparaît alors que la première catégorie ne remplit aucune des deux conditions requises ; que la deuxième est partiellement géocinétique, mais pas héliostatique ; et que, seule, la troisième satisfait pleinement aux deux exigences énoncées, puisque, d'une part, la Terre est bel et bien en mouvement (et même animée de deux mouvements différents : rotation et révolution) et que, d'autre part, le Soleil est

12. Rappelons que, dans le sillage de la philosophie du Stagirite, le terme « mouvement » possède une acception beaucoup plus large que celle que nous lui accordons aujourd'hui, puisqu'il vise, bien sûr, le changement selon le lieu (c.-à-d. le transport), mais aussi le changement selon la quantité (accroissement et décroissement) et selon la qualité (altération). Dans le cadre de l'étude de cette analogie, le mouvement requis sera toujours un mouvement selon le lieu.

13. Du point de vue qui est le nôtre, le système tychonien ne diffère donc pas du géocentrisme classique.

14. Sur l'opportunité relative d'une telle appellation, cf. Mayaud, 2005, vol. 1, p. 308.

effectivement immobile, voire même rigoureusement immobile (du moins chez ceux qui, privilégiant Aristote à Platon, ne lui attribuent même pas un mouvement de rotation propre [Lerner, 1980]).

2.5. Portée philosophique de l'analogie

Outre sa portée explicite, de nature cosmologique, notre analogie présente également — le vérifier sera d'ailleurs l'un des objectifs de cet article — une portée implicite, de nature philosophique, qui déterminera les uns à la soutenir à tout prix et les autres à la combattre avec tout autant de vigueur. Ainsi considérée, son enjeu dépasse largement la question, en soi purement astronomique, de savoir si la Terre est animée ou non d'un mouvement de rotation. En effet, notre analogie s'appuie sur un présupposé — le repos est plus noble que le mouvement — ayant donné naissance à un principe de convenance — le mouvement doit revenir à l'indigent — et conduit, devant la constatation que ce principe n'est aucunement respecté au sein du géocentrisme, à proposer l'explication anthropofinaliste, selon laquelle l'homme étant encore plus important que les astres, il est, en définitive, normal que ce soient ceux-ci qui se mettent en mouvement pour son profit.

Pour bon nombre de géocentristes, tout l'intérêt de notre analogie réside donc, dans un premier temps, dans le fait de pointer explicitement ce qui passe pour être une *inconvenance* radicale et ainsi, dans un second temps, de conduire implicitement — sauf à en rester à cette inconvenance et à admettre, par conséquent, que le cosmos n'en est pas vraiment un — à rechercher, derrière cette inconvenance manifeste, l'existence d'une *convenance* cachée, mais *supérieure*, qui sera reconnue comme étant de nature anthropofinaliste. Un tel raisonnement paraîtra même d'autant plus légitime que si le géocentrisme apparaît donc, en termes de *civilité*, comme témoignant d'une *inconvenance* qui demande à être expliquée, il manifeste également, en termes d'*astrologie naturelle* cette fois[15], une *convenance* à ce point remarquable qu'elle est souvent jugée comme devant être, elle aussi, justifiée par le recours à une même explication anthropofinaliste. En effet, si l'immobilité de la Terre semble suspecte, selon le premier point de vue, sa centralité apparaît, selon le second point de vue, comme extrêmement heureuse, puisqu'elle permet la convergence, comme dans un entonnoir ou dans le foyer d'un

15. À savoir, l'étude de l'action et des influences des astres sur la Terre et sur tout ce qu'elle abrite.

miroir, de tous les influx célestes[16]. L'abord de l'état cosmologique de notre demeure, qu'il se fasse selon les règles de la civilité ou selon le regard plus « scientifique » de l'astrologie naturelle, conduit donc à repérer, *in fine*, une même convenance anthropofinaliste. Mieux : cette centralité immobile de la Terre et ce mouvement des astres paraissent, selon les propos de Tycho Brahe (1546-1601), véritablement coordonnés : « ainsi la Terre, pour ainsi dire endurant et en repos, reçoit de manière la plus appropriée les forces et les influx, tendant vers le Centre, du Ciel agissant et tournant » (Tycho Brahe, 1596/1919, vol. 6, p. 221 ; trad. Mayaud, 2005, vol. 3, p. 166).

Pour les héliocentristes en revanche, notre analogie ne conduit nullement à la recherche d'une convenance supérieure capable de rendre compte de cette inconvenance immédiatement perçue, puisque le système cosmologique auquel ils se rallient respecte à la lettre, comme nous l'avons vu, les deux contraintes exigées par notre analogie : satisfaits de la convenance manifeste et immédiate qui est la leur, ils ne sont pas invités, comme les géocentristes, à pousser davantage leur réflexion.

Autrement dit, et ce sera notre hypothèse de travail, il est permis de penser que l'intérêt accordé par les non-coperniciens et les coperniciens à notre analogie a différé non seulement par son contenu, mais encore par sa nature : alors que les premiers, embarrassés par ses conséquences cosmologiques obvies, n'ont pu apprécier que les conséquences philosophiques cachées qui pouvaient en être déduites, les seconds, eux, ont pu l'estimer pour les conséquences cosmologiques manifestes qui en découlaient et dont ils ont pu décider de se prévaloir comme d'un argument supplémentaire venant confirmer le bienfondé de leur système cosmologique.

2.6. Les conséquences attendues

De l'analyse purement logique que nous venons de mener, nous pouvons, dès à présent, déduire un certain nombre de conséquences. En historien sachant que nulle raison ne veille sur l'histoire, nous pourrons d'autant

16. Que la position de la Terre au centre du cosmos soit la plus appropriée pour recevoir et jouir des influx célestes est un *topos* qui — faisons-le remarquer en passant — contrebalance le caractère intrinsèquement méprisable de sa position tout en bas du monde. Sur l'opportunité de cette position, cf., de manière générale, Grant (1996, pp. 569-617) et, conformément à notre point de vue, Barthélemy l'Anglais (1240/1964, pp. 375-376 ; trad. 1240/1999, p. 169) ou encore Morin (1634, p. 39 ; trad. Mayaud, 2005, vol. 3, pp. 671-672).

mieux soumettre, en conclusion, ces déductions au contrôle des faits que nous les aurons énoncées d'entrée de jeu.

Quatre questions principales, qui constituent autant de contestations potentielles de notre analogie, peuvent lui être posées : 1°) la validité de l'induction opérée en appliquant au ciel ce qui prévaut, ici sur Terre, dans les cuisines ; 2°) la justesse de la supériorité affirmée du repos sur le mouvement ; 3°) la pertinence du principe de convenance qui en est déduit ; et enfin 4°) la légitimité d'un recours à un argument de convenance au lien d'en rester à des arguments strictement scientifiques.

Quant à la portée spécifiquement cosmologique de notre analogie, nous pouvons nous attendre à ce qu'elle soit revendiquée comme pertinente par les semi-coperniciens et les coperniciens et, au contraire, contestée par les non-coperniciens. On peut même escompter que cette condamnation de notre analogie sera d'autant plus ferme que les non-coperniciens auront précisément tendance à restreindre leur critique de la théorie copernicienne à la seule rotation héliocentrique de la Terre, dans la mesure où cette posture présente, pour eux, un double avantage : d'une part, celui de les autoriser à reprendre, sans même devoir les modifier, les arguments classiques déjà avancés par Aristote et Ptolémée ; d'autre part, celui de les dispenser de l'obligation d'examiner les deux autres mouvements attribués, par Copernic, à notre globe.

Enfin, la portée philosophique qui peut résulter de notre analogie nous conduit à prévoir qu'elle fera l'objet d'un accueil ambivalent de la part des croyants non-coperniciens : désavouée pour sa portée cosmologique, mais prise en considération pour sa potentielle portée anthropofinaliste.

2.7. Structure de l'article

Afin de ne pas imposer au lecteur un article d'une longueur démesurée, nous avons retenu, dans le corps du texte, les occurrences les plus significatives de notre analogie et nous avons reporté en annexe[17] l'analyse de celles qui nous semblaient être d'un intérêt secondaire ou dont le propos nous paraissait être redondant avec celles que nous avions retenues. Les unes et les autres sont cependant toutes prises en compte dans nos commentaires et, en particulier, dans notre conclusion.

17. Nous renvoyons au plan de l'article le lecteur désireux de savoir en quel endroit de notre étude il pourra trouver l'analyse relative à un auteur de notre corpus.

3. L'installation de l'analogie au XIVe siècle

3.1. Jean Buridan

Avant de découvrir la première occurrence attestée de notre analogie, il nous faut faire un petit détour vers l'année 1334 et les *Quaestiones super libris quattuor De caelo et mundo* de Jean Buridan (1292-1363), car la question de l'immobilité de la Terre au centre du monde y est traitée. Certes, nulle trace de notre analogie ne s'y trouve. En revanche, le philosophe de Béthune, dont on sait qu'il eût Nicole Oresme comme élève, y traite, pour le réfuter, l'argument de convenance en faveur de la rotation diurne de la Terre que d'aucuns, dont le futur évêque de Lisieux lui-même, illustreront bientôt en recourant à notre analogie. Mieux, Buridan s'attache à répondre à cet argument, ce que ne fera pas l'auteur du *Livre du Ciel et du Monde*.

Dans la question 22 du livre 2, le philosophe de Béthune signale en effet que ceux qui soutiennent la rotation diurne de la Terre « ajoutent en sa faveur — peut-être pour le plaisir de discuter — quelques raisons de convenance [*persuasiones*] » (Buridan, 1996, p. 502; trad. Bulliot, 1914, p. 13), dont voici la première des cinq qu'il rapporte :

> « Le ciel n'a rien à recevoir de la terre et des êtres inférieurs, tandis que la terre, au contraire, a besoin des influences du ciel; or il est raisonnable d'admettre que l'être indigent se meut pour acquérir ce dont il a besoin, plutôt que l'être qui n'a rien à recevoir. » (Buridan, 1996, p. 502; trad. Bulliot, 1914, p. 13).

Se trouve ici exprimé — en première position! — le principe de convenance qui, nous l'avons signalé, régit l'appréciation qui peut être portée à l'égard des deux solutions proposées. Énoncé dans le premier argument que nous venons de citer, ce principe — c'est la Terre qui a besoin du ciel et non l'inverse, donc c'est à elle de se mouvoir — est lié à ceux mentionnés dans le deuxième argument — plus la perfection d'un être est grande, moins il a besoin d'action et donc de mouvement — et enfin dans le troisième — le repos est plus noble que le mouvement. En effet, le principe selon lequel c'est l'être indigent qui doit se mouvoir et non l'être comblé (1er argument) s'explique par le fait que le premier a de grandes raisons d'agir quand le second n'en a guère, voire aucune (2e argument) et résulte très naturellement de l'appréciation classique selon laquelle « il est plus noble et plus parfait d'être en repos que de se mouvoir », dès lors que le repos est la fin du mouvement et que « la fin est plus noble que le moyen » (3e argument) (Buridan, 1996,

p. 502; trad. Bulliot, 1914, pp. 13-14). En dépit de cette supériorité, indiscutée depuis les pythagoriciens[18], du repos sur le mouvement qui gît au cœur de la philosophie de la nature du Stagirite, Buridan, en tant que géocentriste, ne peut évidemment pas se résoudre à accepter la conséquence cosmologique qui en résulte, à savoir la mise en mouvement de la Terre indigente et la mise à l'arrêt de la sphère, parfaitement comblée, des étoiles fixes. Aussi s'attache-t-il à répondre, comme il le peut, à cet argument de convenance :

> « On doit concéder que la terre a besoin de l'influence du ciel, mais il lui suffit, pour la recevoir, de rester passive, il n'est pas nécessaire qu'elle possède un mouvement local; bien plus, il convient au ciel de se mouvoir lui-même pour agir sur la terre, car c'est le propre de l'être parfait de donner sa perfection aux autres, quoiqu'il n'en doive rien recevoir. » (Buridan, 1996, p. 505; trad. Bulliot, 1914, p. 18).

Autrement dit, la réponse du philosophe de Béthune consiste à inverser purement et simplement l'association traditionnelle utilisée par l'argument : au lieu que l'imperfection, résultant d'un état de besoin, requiert l'action pour pouvoir acquérir ce qui lui manque, elle peut se contenter de la passivité; au lieu que la perfection, associée à un état de satiété, induise la passivité propre à celui qui n'a rien à recevoir, elle peut être associée à l'action de celui qui a sa perfection à donner.

Au principe énoncé dans le deuxième argument (à savoir, plus un être est parfait, moins il a besoin d'agir), Buridan répond ensuite que le repos constitue effectivement la plus haute perfection pour les êtres immatériels, mais non pour les êtres matériels qui, eux, se meuvent afin de recevoir la perfection. Ainsi en est-il, par exemple, du ciel qui, loin de se satisfaire d'une immobilité néfaste, se meut fort heureusement pour recevoir la perfection du premier moteur. Au troisième principe (en l'occurrence, le repos est plus noble que le mouvement), il rétorque enfin que le repos est assurément plus parfait que le mouvement, mais uniquement lorsque ledit mouvement est destiné à acquérir quelque chose d'autre que lui-même (l'atteinte d'un lieu naturel par exemple). Or, conclut-il, tel n'est précisément pas le cas des corps célestes qui, eux, trouvent leur perfection finale dans leur mouvement même.

18. Rappelons que, dans le tableau des oppositions des pythagoriciens tel qu'il nous est rapporté par Aristote, le repos est du côté du bon et le mû du côté du mauvais (cf. Aristote, trad. 1986, vol. 1, p. 46).

Dans un « dernier doute », Buridan fait remarquer « qu'il convient que le mouvement du ciel soit *utile* à la terre et à ses habitants, en amenant au-dessus d'eux, tour à tour et incessamment, les divers corps célestes ». Or, « cette présentation successive des corps célestes s'accomplit très bien » sans la rotation diurne de la Terre et grâce au seul mouvement du ciel. Par conséquent, il serait parfaitement inutile que notre globe soit pourvu d'une telle rotation. Comme on ne doit rien admettre d'inutile dans la nature, il en résulte nécessairement que la Terre est dépourvue d'un tel mouvement de rotation (Buridan, 1996, p. 507 ; trad. Bulliot, 1914, p. 23). Comme en témoigne ce « dernier doute », la portée anthropofinaliste du monde étant déjà manifestée et réalisée par le mouvement du ciel, il n'y a pas lieu d'attribuer un mouvement de rotation à la Terre de sorte que, dans l'esprit de Buridan, l'anthropofinalisme semble l'emporter sur le respect de notre principe de convenance. On pourrait en effet schématiser son raisonnement comme suit : 1°) un malaise suscité par le non-respect d'un principe de convenance millénaire, d'où la tentative de relativiser sa portée ; 2°) une justification du mouvement du ciel, qui se trouve en contradiction avec ce principe de convenance, par un principe supérieur de nature anthropofinaliste ; 3°) un abandon du principe de convenance et une disparition du malaise initial suite au constat que, sans même devoir respecter ce principe, l'anthropofinalisme du monde est parfaitement assuré par le mouvement du ciel !

3.2. Problèmes de chronologie et ancienneté de l'analogie

Dans la seconde partie du XIVe siècle, notre analogie apparaît chez Themon Juif, Albert de Saxe, Pierre d'Ailly et Nicole Oresme. Entre ces auteurs, il semble malaisé de déterminer une filiation rigoureuse, du moins en ce qui concerne la question qui nous occupe[19]. S'il eût certes été intéressant de pouvoir déterminer lequel de ces auteurs a, le premier, fait usage de notre analogie, il n'est pas indispensable de s'épancher sur cette question, car aucun d'eux n'en est l'inventeur. Au sein des penseurs que nous venons de mentionner, il s'avère en effet que cette métaphore est explicitement présentée, par Themon Juif et Albert de Saxe, comme étant le fait d'« anciens » (*antiquorum*). On pense évidemment à un certain nombre de pythagoriciens auxquels la croyance de la rotation de la Terre, en lieu et place de la révolution du ciel, a été attribuée et, en particulier, à ceux mentionnés par

19. Pour s'en convaincre, il suffit de comparer les liens de dépendance établis par Pierre Duhem (1958, pp. 354-358), Henri Hugonnard-Roche (1349/1973, pp. 107-111) et Pierre Souffrin (1993, p. 291).

Copernic lui-même, à savoir Ecphantus, Hicétas, Philolaos et Héraclide du Pont (par ex., Cicéron, 45 acn/1969, p. 89; Copernic, 1543/2015, vol. 2, p. 8). Cette attribution est d'ailleurs conforme à celle que renseignera Amico en 1626, à savoir : « Pythagore selon Sax., q. 13, a. 2 et q. 24, et selon Simplicius, De Placitis Pythag. » (Amico, 1626, p. 288; trad. Mayaud, 2005, vol. 3, p. 638). Comme le supposait P.-N. Mayaud (2005, vol. 4, p. 342, n. 1; vol. 6, p. 179, n. 17), la première référence donnée au sein de cette citation renvoie bien à Albert de Saxe. En revanche, nous n'avons pas pu identifier la seconde.

L'ancienneté immémoriale de notre analogie étant ainsi reconnue, tournons-nous maintenant vers les textes qui la mentionnent explicitement. Si elle fait sa prime apparition attestée vers 1349 chez Themon Juif avant de réapparaître, vers 1353, chez Albert de Saxe puis, de manière plus succincte, chez Pierre d'Ailly dans les années 1368-1374 avant de figurer, vers la fin du XIV[e] siècle, dans un commentaire anonyme du *Traité de la sphère* de Jean de Sacrobosco, c'est bien sûr son apparition, en 1377, dans le *Livre du Ciel et du Monde* de Nicole Oresme que nous avons retenue comme étant la plus intéressante.

3.3. Nicole Oresme

Discutée par Buridan, Themon Juif, Albert de Saxe et Pierre d'Ailly, la rotation diurne de la Terre trouve chez Nicole Oresme (c. 1323-1382) celui qui, tout en la récusant finalement, a le mieux fait ressortir sa pertinence en reconnaissant qu'elle ne peut être infirmée ni par l'expérience, ni par la raison. Se présentant comme le commentaire d'un bref passage d'Aristote faisant allusion à ce qu'aurait dit, d'un tel mouvement, Platon dans le *Timée* (Aristote, trad. 1965, p. 87; Platon, trad. 1985, p. 155), la glose qu'Oresme consacre à cette question (liv. 2, chap. 25) s'avère être la plus longue de son *Livre du Ciel et du Monde* (1377), ce qui témoigne de l'importance qu'il lui accorde. Toutefois, il fallut attendre 1909 pour que ce chapitre soit porté à la connaissance du monde savant grâce à un article de Duhem (1909) et les années 1940 pour que ce commentaire français du *De Caelo* d'Aristote soit intégralement publié (Oresme, 1941, 1942, 1943). Il n'entre évidemment pas dans notre propos ni d'évoquer le débat relatif à la réponse qui fut apportée par le futur évêque de Lisieux à la question posée, ni même de définir quel fut son véritable objectif en la posant (Souffrin, 1993). En revanche, nous ferons d'emblée remarquer que le premier argument qu'Oresme donne en faveur du mouvement de la Terre sur les dix qu'il examine est celui que

nous avons déjà rencontré, également en première position, chez Buridan. En revanche, cet argument se trouve, cette fois, illustré par notre analogie :

> « Premièrement, c'est que toute chose qui a besoin d'une autre chose doit être disposée à recevoir le bien qu'elle tire de l'autre par son mouvement à elle qui reçoit ; et sur ce point nous voyons que chaque élément est en mouvement vers le lieu naturel où il est conservé, et il va vers son lieu, mais son lieu ne vient pas à lui. Donc la terre et les éléments d'ici-bas qui ont besoin de la chaleur et de l'influence du ciel tout alentour doivent être disposés par leur mouvement à recevoir ce profit correctement, comme, pour parler familièrement, la chose qui est rôtie au feu reçoit autour d'elle la chaleur du feu parce qu'elle est tournée et non pas parce que le feu serait tourné autour d'elle. » (Oresme, 1377/1968, pp. 531-532).

À l'appui de notre principe de convenance, Oresme fait valoir l'exemple des éléments qui, par un mouvement de translation rectiligne, se mettent en état de pouvoir rejoindre le lieu naturel auquel ils aspirent. Pour illustrer le fait qu'il convient, en outre, que cette mise en mouvement ne soit pas quelconque, mais de nature à permettre à l'indigent de recevoir « correctement » ce qui est apte à le combler, il recourt en revanche à un exemple mettant en œuvre un mouvement différent, à savoir le mouvement de rotation d'une chair rôtie à la broche.

Grâce à Oresme, il apparaît donc que notre principe de convenance prescrit seulement, de manière générale, une mise en mouvement de l'indigent et que c'est, au cas par cas, que ce mouvement requis prendra une configuration particulière (par exemple, un mouvement rectiligne ou rotatoire) en fonction du type de mouvement qui permet à l'indigent de combler, le plus correctement possible, son manque. Dans notre parcours historique retraçant les usages de ce principe et de cette analogie, il conviendra donc de bien distinguer ce qui résulte du principe lui-même (une mise en mouvement) et, plus spécifiquement, de son analogie (un mouvement de rotation).

En effet, dès lors que l'indigent spécifiquement visé, à savoir la Terre et ses éléments, a besoin « tout alentour », il convient de lui attribuer le même mouvement que celui de la chair rôtie à la broche, à savoir un mouvement de rotation. Tout autre mouvement serait, en l'occurrence, néfaste. En effet, depuis la plus haute antiquité, on sait non seulement que toutes les parties de la Terre ont besoin des rayons du Soleil, mais encore que ces rayons pourraient

nuire, au lieu d'être bénéfiques, s'ils étaient trop intenses ou s'ils venaient à s'attarder trop longtemps sur une région terrestre particulière[20].

3.4. Conclusion

Buridan, nous l'avons vu, stipulait que c'était « peut-être pour le plaisir de discuter » (Buridan, 1334/1996, p. 502 ; trad. Bulliot, 1914, p. 13) que les partisans de la rotation diurne de la Terre avançaient quelques raisons de convenance. Cette remarque peut être interprétée de multiples façons. Elle pourrait ne manifester qu'un détachement prudent du philosophe de Béthune à l'égard du système cosmologique envisagé en cet endroit. Ce détachement se trouverait d'ailleurs renforcé par l'attribution, sans doute volontairement erronée, à d'autres auteurs que lui de la formulation des cinq arguments en faveur du mouvement de la Terre qu'il se contenterait de rapporter (Buridan, 1334/1983, p. 395, n. 6). Elle pourrait aussi faire état d'un jugement ironique et dédaigneux à l'égard des raisons de convenance. Fort de cette dernière interprétation, il serait aisé de contester à ces raisons tout intérêt. Ce serait toutefois oublier que l'incapacité des raisons naturelles (expérimentales ou rationnelles) à conclure si un tel mouvement diurne doit être attribué au ciel ou à la Terre contraint nos savants, pour trancher la question, à se tourner vers des « persuasions » d'une autre nature : métaphysiques ou scripturaires. Tel est précisément le cas d'Oresme qui, ayant pleinement conscience de la parfaite équivalence des deux possibilités proposées et donc de l'impossibilité dans laquelle il se trouve de choisir l'une d'entre elles, opte finalement pour l'immobilité de la Terre au nom de l'autorité de la Bible tout en convenant — ce qui mérite d'être souligné — que ce choix semble s'opposer à la raison naturelle autant ou même davantage que ne le font les articles de sa foi (Oresme, 377/1968, pp. 536-538). Face à une telle situation d'indécision sur base de critères réputés « objectifs », nous pouvons donc comprendre que, faute de mieux, les arguments scripturaires et/ou de convenance aient pu jouir, en toute connaissance de cause, d'un certain crédit.

20. Conscients de l'ambivalence de ce Soleil qui peut, tout à la fois, être source de vie et cause de destruction, nombre d'auteurs interpréteront comme un témoignage de la sagesse du Créateur le fait que son rayonnement soit proportionné de manière telle qu'il assure à la Terre une température équilibrée (Basile de Césarée, 378/1968, p. 229 et p. 377 ; Isidore de Séville, 615/1960, p. 234).

4. L'éclipse des XVe et XVIe siècles

Si une nouvelle mention de notre analogie apparaît, au milieu du XVe siècle, dans un commentaire anonyme du *Traité de la sphère* de Jean de Sacrobosco, c'est près de 150 ans après Nicole Oresme, soit dans l'écrit intitulé *An terra moveatur an quiescat, Joannis de Monte regio disputatio* et imprimé en 1533, que nous rencontrons la seule occurrence publiée de notre analogie que nous ayons réussi à identifier pour les XVe et XVIe siècles. Cette désaffectation à l'égard de notre analogie nous interdit de lui attribuer quelque rôle que ce soit dans la contexte de la découverte de l'astronomie copernicienne, mais non pas, comme nous le constaterons, dans le contexte de sa justification. Si, en l'état de nos recherches, notre analogie semble donc tomber en désuétude au cours des XVe et XVIe siècles, il n'en reste pas moins que le principe de convenance qui la sous-tend reste, lui, bien connu[21]. Les deux seules occurrences de notre analogie que nous avons pu retrouver durant cette période présentent en tout cas l'intérêt de manifester que notre comparaison ne s'est guère modifiée, ni dans son esprit ni dans sa formulation, depuis sa première apparition attestée au XIVe siècle : il en ira tout autrement au XVIIe siècle.

5. Une résurgence dans un nouveau contexte scientifique (XVIIe-XVIIIe siècles)

5.1. Introduction

Jusqu'à présent, le contexte d'utilisation de notre analogie était simple, car homogène : il s'agissait toujours, dans le cadre d'une cosmologie géocentrique — et ce, même dans le cas de l'écrit attribué à Georg Peurbach que nous avons cité[22] —, d'examiner comment il convenait de rendre compte de l'apparence de la révolution quotidienne du ciel, pour finalement toujours

21. En témoigne le poète français Pontus de Tyard (1521-1605) qui, dans *L'Univers ou Discours des parties et de la nature du monde* (1557), se remémore parfaitement ce principe de convenance lorsqu'il aborde précisément la question de la rotation terrestre (Tyard, 1587/2010, p. 158).
22. Contrairement à ce que pensait l'historien de l'astronomie Ernst Zinner (Copernic, 2015, vol. 1, pp. 129-131).

opter — en dépit de l'interprétation duhémienne du texte oresmien[23] — en faveur de l'attribution au ciel lui-même d'un mouvement de révolution, et ce bien que notre analogie plaide, en revanche, pour l'affectation d'un mouvement de rotation à la Terre. Dans un tel contexte, cette analogie, finalement inopérante, permettait seulement d'attirer l'attention sur cette inconvenance qui voulait que la Terre, tout en étant indigente, puisse se permettre de rester immobile.

Avec l'émergence de l'hypothèse héliocentrique conçue de manière réaliste et l'apparition des découvertes astronomiques de Galilée, ces discussions sur le mouvement de rotation de la Terre — jadis menées par divertissement (« par esbatement » disait Oresme [1377/1968, p. 538]) — vont prendre un nouveau tour : il ne s'agira plus d'en rester, au mieux, à l'acceptation de la possibilité *logique* de la rotation diurne de la Terre, mais bien d'en affirmer la réalité *physique*. Aussi notre analogie, remise au-devant de la scène, deviendra l'objet d'enjeux scientifiques plus importants.

C'est dans ce nouveau contexte que nous nous proposons d'analyser l'attitude endossée, à l'égard de notre analogie, par les différents groupes en présence en faisant appel, pour chacun d'eux, à un nombre restreint de leurs membres les plus représentatifs, rejetant les autres en annexe.

5.2. Les coperniciens chrétiens

Pour différencier les postures des uns et des autres, la première distinction qui s'impose naturellement est celle entre non-coperniciens et coperniciens. Prenons garde de ne pas oublier qu'une telle distinction, bien qu'assez opérante, n'est cependant pas inexorable : estimer la rotation diurne de la Terre plus probable que celle du ciel, ou même l'affirmer expressément, n'implique pas nécessairement une certaine connaissance de l'héliocentrisme et peut même se combiner avec le rejet explicite de celui-ci. Comme le signale d'ailleurs l'existence de la catégorie des semi-coperniciens, l'acceptation de la rotation de la Terre ne saurait donc constituer, à elle seule, une ligne de partage entre coperniciens et non-coperniciens. Toujours est-il que, près de 140

23. Trompé, comme l'a fait remarquer Pierre Souffrin (1993, pp. 282-283), par l'utilisation d'un manuscrit ne contenant pas la seule déclaration explicite de Nicole Oresme en faveur de l'immobilité de la Terre (comparer le texte donné, d'une part, dans Duhem, 1909, p. 872 et dans Duhem, 1958, p. 341 et, d'autre part, dans Oresme, 1377/1968, p. 536), l'illustre savant bordelais a cru pouvoir soutenir que le futur évêque de Lisieux était un partisan déclaré de la rotation diurne de la Terre et, ainsi, en faire si peut-être pas l'inspirateur de Copernic, du moins son précurseur (Duhem, 1909, p. 873).

ans après la mort de l'auteur de *An terra moveatur an quiescat* et près de 80 ans après la publication de cet écrit, c'est, fort logiquement, un copernicien, en l'occurrence le carme Paolo Antonio Foscarini (c. 1565-1616), qui, le premier, semble s'être souvenu de notre analogie comme en atteste, dans sa *Lettera sopra l'opinione de' Pittagorici, e del Copernico* (1615), la présence de ce qui pourrait être une réminiscence, consciente ou inconsciente, de celle-ci. Toutefois, il ne semble pas que ce soit cette allusion à notre analogie qui ait pu susciter sa résurgence au XVII[e] siècle : au sein de notre corpus, ce passage de Foscarini sera seulement repris et commenté, en 1653, par le savant copernicien allemand Daniel Lipstorp (1631-1684) qui, dans son *Copernicus redivivus*, y verra un moyen de répondre au passage de Josué avancé par les anticoperniciens et faisant état d'un arrêt du Soleil (Lipstorp, 1653, pp. 157-158). En revanche, pour rendre compte de cette résurgence, nous disposons d'un bien meilleur candidat en la personne de Kepler.

5.2.1. Johannes Kepler

Trois ans après Foscarini, en 1618 donc, Johannes Kepler (1571-1630) recourt, tout à fait explicitement cette fois, à notre analogie dans son *Epitome astronomiae copernicanae* alors qu'il traite, dans la 5[e] partie du livre 1, du mouvement diurne de la Terre. Contestant l'idée selon laquelle aucun corps ne pourrait voir son mouvement circulaire causé par autre chose que la cause intrinsèque qui le fait naturellement se mouvoir, le célèbre astronome donne l'exemple du mouvement de rotation de la Terre par lequel ses parties s'emparent, à tour de rôle, de la chaleur du Soleil, évitant ainsi qu'un hémisphère soit brûlé par le feu pendant que l'autre demeurerait gelé. Il poursuit en faisant appel, comme ses devanciers du XIV[e] siècle, à un principe d'économie et de simplicité :

> « Il est extrêmement absurde que la masse si grande [du Soleil], qu'en outre les Philosophies prétendent plus parfaite que le globe de la Terre, parcourt en tournant autour un chemin si grand à cause de la forme de cette petite boule très exiguë — une forme à cause de laquelle elle ne peut simultanément jouir tout entière de la chaleur du soleil —, alors que la Terre peut soulager de cette charge une telle masse par la rotation beaucoup plus courte de son petit corps ; en effet, ce serait comme si un cuisinier inepte, ayant dédaigné de faire tourner la chair fixée à une broche, de préférence menait tout autour en cercle le feu autour de la chair. » (Kepler, 1618/1953, p. 93 ; trad. Mayaud, 2005, vol. 4, p. 416, n. 19).

Autrement dit, étant donné, d'une part, que la masse du Soleil est bien plus importante que celle de la Terre de sorte que l'imposante révolution qu'on lui imposerait serait bien plus contraignante que la menue rotation qu'on infligerait à notre planète et, d'autre part, que le Soleil est plus noble que la Terre de sorte qu'il serait absurde de le condamner à parcourir un chemin aussi grand à cause de l'incapacité de notre planète à recevoir sa chaleur sur l'ensemble de sa surface, il serait tout à la fois dispendieux et inconvenant de vouloir faire tourner le Soleil autour de la Terre, comme le serait, pour un cuisinier, de prétendre faire orbiter le feu autour de la viande à cuire.

Dans ce passage qui voit apparaître, au sein de notre analogie, la figure supplémentaire du cuisinier, Kepler (contrairement à Foscarini) respecte la lettre de notre analogie, puisqu'il l'utilise pour requérir l'attribution d'un mouvement de rotation à la Terre, et il en respecte également l'esprit, du moins relativement bien, puisque, sans faire explicitement appel à notre principe de convenance, il laisse entendre que la « faute » revient à la Terre, puisque c'est elle qui, en raison de la figure sphérique qui est la sienne, est en état de besoin. En revanche, pour la première fois, on voit apparaître un mélange de considérations discrètement qualitatives (la plus grande noblesse de l'astre du jour) et explicitement quantitatives (l'importance de la masse solaire par rapport à la petite boule exiguë de la Terre), alors qu'auparavant de telles considérations quantitatives n'étaient jamais de mise dans le cadre de notre analogie. S'inaugure ainsi une nouvelle manière de comprendre notre métaphore qui ne manquera pas de se renforcer avec le temps.

Le célèbre astronome ne s'est toutefois pas contenté de réutiliser notre analogie. Dans la même œuvre, alors qu'il traitait également du mouvement de rotation de la Terre, il avait déjà mentionné une variante parfaite de notre comparaison, à savoir celle d'un orateur qui, de façon absurde, voudrait imposer à son auditoire de tourner autour de lui (révolution) alors qu'il lui suffirait de tourner la tête vers son auditoire (rotation) :

> « La Nature, en toutes circonstances, n'emprunte pas des chemins compliqués quand elle peut suivre des chemins plus simples. Mais pour la rotation de la terre, un tout petit corps, autour de son axe en direction de l'Orient, la Nature peut assurément reproduire le même mouvement que celui de la révolution du très vaste Monde autour du même axe (étendu jusqu'aux deux extrémités du Monde) en direction de l'Occident. Tout comme donc il est plus crédible que la tête de l'orateur se tourne vers son auditoire plutôt que ce dernier se déplace autour de la tête immobile de l'orateur, ainsi il est plus crédible aussi que la terre se meuve du couchant vers le

> levant plutôt que tous les autres corps de la machine du Monde du levant au couchant, puisque les mêmes [apparences] suivent des deux côtés. » (Kepler, 1618/1953, p. 80).

Bien plus que Foscarini, Kepler doit donc être considéré comme l'une des premières causes de la recrudescence de notre analogie au XVIIe siècle : 1°) son analogie du cuisinier, bien que relativement discrète, sera reprise, souvent pour être critiquée, par L. Froidmont (1631, 1634), J.-B. Morin (1634), B. Mastri da Meldola et B. Belluti (1640) et I. Cardoso (1673) ; 2°) sa variante de l'orateur — qui pourrait avoir inspiré celle de Galilée ? — sera mentionnée par J.-B. Morin (1631), P. Gassendi (1642, 1647, 1658) et Fr. Bernier (1678).

5.2.2. Philippe van Lansberge et compagnie

La pensée du copernicien, mathématicien et ministre calviniste belge Philippe van Lansberge (1561-1632) n'est pas sans présenter quelques similitudes avec celle du luthérien Kepler. Avant de l'aborder, il convient tout d'abord de rappeler brièvement le contexte dans lequel prendront place les extraits que nous allons citer (Howell, 2002, pp. 137-166).

En 1629, Lansberge publie en flamand son traité *Bedenckingen op den dagelijkschen en jaarlijkschen loop van den aerdtkloot*, paru l'année suivante en latin sous le titre *Commentationes in motvm Terrae diurnum, & annuum*. Ce traité constitue l'un des plaidoyers les plus explicitement théologiques en faveur de la cosmologie copernicienne. Convaincu que l'univers est rationnel à l'image de son Créateur, que l'astronomie est capable de décrypter l'exacte constitution de cet univers et qu'à ce titre, elle est appelée à jouer un rôle privilégié au sein de la théologie naturelle, Lansberge adopte l'héliocentrisme au détriment d'un géocentrisme qui lui paraît absurde eu égard aux lois naturelles instituées par Dieu (Lansberge Ph., 1630, p. 3) et prône, de ce fait, une lecture non littérale du texte biblique. Depuis l'Université de Louvain, le théologien catholique et scientifique belge Libert Froidmont (1587-1653), qui s'avère être un anticopernicien modéré, mais un adversaire déterminé des Réformés, publie immédiatement un *Ant-Aristarchus sive Orbis-terrae immobilis* (1631), dont le titre complet fait explicitement référence à la mise à l'index de 1616. Dans cet ouvrage, il s'en prend autant aux positions scientifiques que théologiques de Lansberge, estimant sans doute que le copernicanisme et le calvinisme de celui-ci constituent les deux facettes d'un même égarement. Une attaque aussi virulente contre la nouvelle astronomie et contre la foi réformée ne pouvant demeurer sans réponse, le médecin Ja-

cob van Lansberge (1590-1657), à savoir le propre fils de Philippe, s'attache à défendre la mémoire de son père en publiant lui-même, en 1633, une *Apologia, pro Commentationibus Philippi Lansbergii in motum terrae diurnum et annuum*, dirigée non seulement contre Froidmont, mais également contre le *Famosi et antiqui problematis de telluris motu, vel quiete, hactenus optata solutio* (1631) du géocentriste Jean-Baptiste Morin de Villefranche (1582-1656). En 1634, Froidmont rétorque par un *Vesta, sive Ant-Aristarchi vindex* et Morin par un *Responsio pro Telluris quiete*.

Le contexte étant tracé, revenons à l'origine de cette querelle, à savoir le *Commentationes in motvm Terrae diurnum, & annuum* de Philippe van Lansberge. Copernicien convaincu, ce savant pasteur calviniste entend bien profiter de notre analogie pour plaider en faveur du mouvement de rotation diurne de la Terre. Toutefois, tout en restant parfaitement fidèle à notre analogie (il s'agit bien d'un « absurde » mouvement de révolution qui est comparé à un « raisonnable » mouvement de rotation), il se permet de l'adapter en fonction de la vision théologique qui est la sienne : au lieu qu'il s'agisse d'un rôti, symbolisant la Terre, et d'un feu rôtisseur, représentant le Soleil, il est question, chez lui, d'une mère prenant soin de ses enfants, figurant respectivement la Terre et les hommes, et d'une source de chaleur (et non de cuisson), symbolisant le Soleil. Par ces modifications et par ce dédoublement des personnages représentant la Terre, notre pasteur copernicien fait d'une pierre deux coups : il plaide bien sûr en faveur de l'attribution d'un mouvement de rotation à la Terre, mais il véhicule également un message qui lui tient sans doute encore plus à cœur, à savoir celui de la visée anthropofinaliste du monde créé. Tel est en effet le message transmis à travers cette image — qui s'appliquera encore mieux à Celui qui fait mouvoir la Terre plutôt qu'à la Terre elle-même (Lansberge Ph., 1630, p. 41 ; trad. Mayaud, 2005, vol. 3, p. 570) — d'une mère (notre globe) n'hésitant pas à « se mettre en peine » pour le bien de ses enfants (les hommes). Voici le texte :

> « Les sphères célestes n'ont pas besoin d'un mouvement quotidien : seule la terre en requiert un. Celle-ci en effet est comme la mère de tous les corps qu'elle renferme en elle. C'est pourquoi, telle une mère digne de ce nom, elle se met en peine sans arrêt pour envelopper ses enfants de chaleur dans sa rotation. C'est d'abord elle-même, ensuite aussi ses enfants qu'elle présente au soleil dans sa ronde avec ordre et continuité. C'est donc elle, mais aussi tout ce qu'elle contient en son sein que la terre présente au soleil, pour qu'il les réchauffe et les restaure. La terre ne peut se passer du mouvement quotidien, si évidemment elle ne veut pas être privée de la

> force de vie du soleil. En vertu de quoi j'affirme que n'est pas une charge abusive la dénonciation de l'opinion de Ptolémée, selon laquelle le soleil connaîtrait une révolution chacun des jours. Mais la question n'est pas l'objet de notre débat. D'une part parce que le soleil n'a pas besoin du mouvement quotidien, d'autre part parce que cela est contraire à la spécificité et à l'activité de la nature. Et quoi donc ! Une mère, soucieuse d'envelopper ses enfants de chaleur, va-t-elle tourner au rebours la source de chaleur autour d'eux, alors qu'elle pourrait plus commodément et avec moins de peine les exposer et les tourner devant le foyer immobile ? Ainsi aussi je dénonce l'ineptie de l'activité de la nature, si on affirme la mobilité du soleil autour d'une terre immobile, pour permettre à celle-ci et à tous les éléments qu'elle renferme de profiter de la force vive de celui-là. Donc le mouvement quotidien ne s'applique pas aux huit sphères selon l'optique de Ptolémée, mais à la seule terre selon le jugement de Copernic. » (Lansberge Ph., 1630, pp. 4-5).

Alors que c'était l'oisiveté étonnante de la Terre qui, auparavant, devait donner à comprendre que les astres, et le Soleil en particulier, se meuvent *pour nous*, c'est, aujourd'hui, son activité plus naturelle, désormais associée à celle des autres corps célestes, qui est chargée de nous livrer exactement le même message ! Faisons remarquer, en passant, que c'est ce type de retournement qui peut donner à penser que les arguments de convenance sont sans valeur, puisqu'infalsifiables : en l'occurrence, si la Terre est immobile, c'est un indice de l'existence d'un projet anthropofinaliste et si elle ne l'est pas, c'est quand même l'indice de l'existence d'un tel projet ! Cette critique récurrente et fondamentale ne peut être atténuée qu'en se souvenant qu'un système analogique, à l'instar d'une théorie scientifique, ne peut pas être jugé ponctuellement, mais seulement globalement.

Si la formulation choisie est donc riche de sens, on pourrait en revanche s'étonner que notre pasteur réformé ait si facilement renoncé à cette immobilité oisive de la Terre qui, en contredisant notre principe de convenance, devait manifester l'existence d'une convenance supérieure. Renoncer à cette auguste et vénérable immobilité n'était-ce pas se priver du meilleur argument en faveur de l'anthropofinalisme du monde créé ? Lansberge ne l'a pas cru. Loin d'abandonner ses convictions théologiques et anthropofinalistes, il a vu, dans l'héliocentrisme, une autre manière, selon lui plus adéquate, de les affirmer. En effet, non seulement il a établi une analogie entre le monde sensible et la Trinité (Lansberge Ph., 1630, p. 39) — à l'instar de Kepler (Kepler, 1596/1984, p. 22 ; Howell, 2002, pp. 125-135), mais d'une manière différente de lui —, mais en outre il a vu dans la situation de la Terre

(Lansberge Ph., 1630, p. 41 ; trad. Mayaud, 2005, vol. 3, p. 569) et dans sa possession d'un mouvement diurne et d'un mouvement annuel (Lansberge Ph., 1630, p. 41 ; trad. Mayaud, 2005, vol. 3, p. 570) une preuve de la bienfaisance et de la sollicitude de Dieu pour l'homme. Voyons comment il est possible de maintenir un tel propos en dépit du passage du géocentrisme à l'héliocentrisme.

Concernant la nouvelle position de la Terre, étant donné que celle-ci est assimilée à la position qui était auparavant celle du Soleil, il « suffit »[24] d'inverser le mouvement des influences : ce qui était, naguère, le meilleur endroit pour que le Soleil puisse diffuser ses influences bénéfiques dans toutes les directions (Stoffel, 0000) est, aujourd'hui, le meilleur endroit pour que la Terre puisse recevoir les différentes influences célestes. Quant au mouvement diurne, le procédé à mettre en œuvre est fondamentalement le même : étant donné l'équivalence d'un mouvement de révolution de l'astre du jour autour d'une Terre immobile et d'un mouvement de rotation de la Terre (emportée elle-même par un mouvement de révolution) autour d'un Soleil immobile, il « suffit » de louer ce mouvement de notre planète de la même façon qu'on a, précédemment, loué le mouvement du Soleil.

Bref, Philippe van Lansberge s'est d'autant plus facilement détaché de l'ancienne vision du monde qu'il a pu maintenir, au sein de la nouvelle, une portée théologique et même anthropofinaliste donnant à penser que l'évolution des connaissances cosmologiques n'appelait pas forcément un renoncement à ses croyances, mais peut-être simplement leur ajustement, voire même leur approfondissement !

Sans pouvoir, malheureusement, rentrer dans le détail du débat suscité par la publication des *Commentationes in motvm Terrae diurnum, & annuum*, et ce même en nous limitant à l'analogie qui nous occupe, signalons du moins, dans les œuvres qui résultent de ce débat, les passages relatifs à notre problématique. En 1631, dans son *Famosi et antiqui problematis de telluris motu, vel quiete*, Morin mentionne notre analogie en se référant explicitement à la variante qu'en a donnée Kepler, à savoir celle d'un orateur face à son auditoire (Morin, 1631, pp. 37-38), cependant que Froidmont, lui, après avoir soutenu, en se référant à Tertullien, que tout existe « pour le bénéfice des hommes qui vivent à la surface de la terre », préfère mentionner, à partir du même Kepler, l'analogie sous la forme du cuisinier (Froidmont,

24. À l'instar d'une théorie scientifique, un système analogique se mesure à l'aune de sa cohérence globale, d'où la réserve ici exprimée par nos guillemets.

1631, p. 76). Prenant, en 1633, la défense de son père, Jacob van Lansberge commence par rappeler les quatre premiers arguments en faveur du mouvement diurne de la Terre que celui-ci a proposés et défendus. Lors du quatrième, il rappelle brièvement l'exemple de la mère (Lansberge J., 1633, p. 3) et, sans plus y revenir, s'attache à répondre aux objections de ses deux contradicteurs. L'année suivante, Morin (1634, p. 15) et Froidmont (1634, pp. 8-9) répondent, dans leur ouvrage respectif, à l'analogie du cuisinier combinée avec celle de la mère.

Comme nous le constaterons, l'adaptation de notre analogie opérée par Philippe van Lansberge paraîtra suffisamment heureuse pour que Riccioli, près de vingt ans plus tard, en fasse explicitement mention dans son célèbre *Almagestum novum*.

5.2.3. Les catholiques

La double acceptation de l'héliocentrisme et de notre analogie n'a pas été l'apanage du luthérien Kepler et du calviniste Lansberge : Pierre Gassendi, par exemple, fera de même, sans toutefois qu'on retrouve chez lui cette conviction anthropofinaliste qui, au-delà de leurs confessions divergentes, réunissait Kepler et Lansberge.

5.3. Les non-coperniciens chrétiens

Si Kepler est donc le premier copernicien à mentionner explicitement, en 1618, notre analogie et à en proposer une variante, le premier non-copernicien, postérieur à la publication du *De revolutionibus orbium cœlestium*, à faire de même est, huit ans plus tard, le jésuite et géocentriste italien Bartolomeo Amico (1562-1649) qui, dans son *In Aristotelis libros De cælo et mundo* (1626), s'attache, sans doute dans le sillage de Buridan, à contester le principe de convenance qui régit notre analogie. C'est toutefois dans un ouvrage écrit à deux mains et paru en 1640 que nous trouverons la réaction la plus forte contre notre analogie qui soit le fait de non-coperniciens chrétiens.

5.3.1. Bartolomeo Mastri da Meldola et Bonaventura Belluti

Dans le cadre de la publication, échelonnée entre 1637 et 1647, des différents fragments qui, réunis, formeront leur cours complet de philosophie selon l'esprit scotiste (*Cursus integer philosophiae ad mentem Scoti*), les franciscains conventuels Bartolomeo Mastri da Meldola (1602-1673) et Bonaventura Belluti (1599-1676) font paraître, en 1640, leurs *Disputationes in*

libros De cœlo, & Metheoris. Après avoir soutenu, d'une part, que le monde forme une unité et qu'il est ordonné selon le modèle géocentrique, et avoir examiné, d'autre part, les réponses de Galilée aux objections formulées à l'encontre du mouvement de rotation de la Terre, ils poursuivent :

> « Enfin, [les coperniciens] avancent pour le mouvement de la terre et l'arrêt du soleil certaines raisons de convenance pleinement ridicules, par lesquelles ils semblent plutôt se moquer de l'opinion commune qu'étayer la leur » (Mastri da Meldola & B. Belluti, 1640, p. 280 ; trad. Mayaud, 2005, vol. 3, p. 861).

La première de ces raisons « ridicules » qu'ils soumettent à leur critique est celle de Copernic avançant que, pour illuminer une salle, il convient de placer la lampe (entendez « le Soleil ») au milieu de celle-ci et non dans un de ses angles (Copernic, 1543/2015, vol. 2, p. 38 ; Stoffel, 0000). Vient ensuite le tour de celle de Kepler :

> « Kepler dit que, lorsque des viandes sont rôties sur des broches, ce n'est pas le feu qui tourne et roule autour des viandes, mais c'est la broche qui tourne devant le feu restant immobile ; donc puisque le Soleil est comme un feu qui chauffe la terre en sorte que, par sa chaleur, elle soit tout entière rendue fertile et féconde, il sera combien plus vraisemblable que, pour participer de cette chaleur, le globe terrestre présente ce côté et cet autre devant le Soleil fixé immobilement en sorte qu'elle soit chauffée successivement tantôt d'un côté tantôt d'un autre plutôt que, au contraire, ce soit le Soleil qui tourne autour de la terre. » (Mastri da Meldola & Belluti, 1640, p. 280 ; trad. Mayaud, 2005, vol. 3, p. 861).

Cinglant, le commentaire de nos deux franciscains s'amuse à développer l'analogie pour montrer qu'on peut lui faire dire n'importe quoi, avant de rappeler l'indifférence de plusieurs modèles de cuisson :

> « L'autre argument de Kepler relève manifestement plus de la cuisine que de l'école, en raison de cette belle comparaison. Si la terre tournée vers le soleil pour en recevoir sa chaleur est comparée à un foyer, pourquoi ne sera-t-il pas autorisé de comparer aussi l'intelligence motrice du globe terrestre (s'il en possède une) à un cuisinier ou à un serviteur de ce dernier faisant tourner la broche ? Ne sont-elles aussi bien cuites les viandes enfermées dans le four brûlant, fixes (sur la broche) et exposées circulairement sur elle vers le feu ? Pourquoi donc la terre doit-elle recevoir sa chaleur du soleil par ce processus plutôt que par un autre ? Puisse Kepler se

> bien porter avec son argument culinaire ! » (Mastri da Meldola & Belluti, 1640, pp. 280-281).

Enfin, nos franciscains rappellent que Galilée lui-même n'a pas manqué d'« insister » en reprenant, sous une autre forme, la même analogie. N'a-t-il pas déclaré que si le spectateur désireux de voir le paysage tourner autour de lui mérite assurément d'être moqué, les hommes qui trouvent naturel de contempler un ciel mobile depuis une Terre fixe doivent l'être encore davantage ?

> « Enfin Galilée insiste : si quelqu'un montait sur une grande tour pour, de là, voir toute la ville, afin d'atteindre ce but, demanderait-il que toute la cité s'offre à ses regards pour lui éviter la peine de mouvoir la tête, et de tourner le cou tantôt vers cette partie, tantôt vers cette autre ? ne serait-ce pas digne d'être grandement moqué ? Mais ne devrions-nous pas également rire encore plus, nous mortels, si, vivant ici sur cette terre pour voir et contempler l'admirable machine des cieux, nous voulions que cette masse tout entière s'offre sans cesse à nos regards, et non pas plutôt que nous-mêmes soyons mus par rapport à elle, la visitant ainsi successivement. » (Mastri da Meldola & Belluti, 1640, p. 280 ; trad. Mayaud, 2005, vol. 3, pp. 861-862).

Reprenant l'antique *topos* du Soleil comme « œil du monde » qui est toujours de mise en ce XVII[e] siècle (Stoffel, 2002, pp. 1198-1199 ; 2005, pp. 210-211), Mastri da Meldola et Belluti prennent plaisir, dans un premier temps, à retourner l'argument de Galilée contre lui : puisqu'il incombe au spectateur de se mouvoir pour aller visiter toute chose et puisque le Soleil est lui-même une sorte de spectateur comme l'indique sa désignation d'« œil du monde », c'est bien — comme nous l'avons toujours soutenu, oh cher Galilée ! — à l'astre du jour qu'il revient de se mouvoir et non à la Terre. Dans un second temps, nos franciscains réfutent l'analogie galiléenne en donnant le contre-exemple du théâtre au sein duquel ce sont les scènes et les décors qui défilent et non les spectateurs :

> « Enfin la comparaison de Galilée se retourne contre lui ; en effet, le Soleil lui-même est l'œil de l'univers comme non seulement les Poètes mais aussi l'Écriture sacrée elle-même l'insinue avec évidence au passage cité de l'Ecclésiaste lorsqu'il dit du Soleil que "visitant toutes choses, il accomplit son circuit (Eccl. 1/6)". Donc s'il en est ainsi, lui-même devra visiter successivement par son mouvement toutes choses, et ce n'est pas la terre qui devra successivement se montrer à lui [qui est] fixé dans l'immobilité. Bien que, en

quelque manière, le ciel soit le théâtre et les hommes y sont placés par Dieu comme des spectateurs, il faut penser que le ciel est mû à plus juste titre que la terre ; dans les tragédies, en effet, d'ordinaire ce ne sont pas les hommes qui changent mais les scènes. » (Mastri da Meldola & Belluti, 1640, p. 281 ; trad. Mayaud, 2005, vol. 3, p. 862).

Faisons simplement remarquer que ce contre-exemple est d'autant plus pertinent qu'il existe une longue tradition assimilant le ciel à un théâtre et les hommes à des spectateurs et que cette tradition reste, aux XVIe et XVIIe siècles, encore vivace auprès de ceux qui écrivent sur l'astronomie. Les exemples de G. Pontano repris par G. J. Rheticus (1540/1982, p. 111), de Palingène (1534/1996, p. 244), de L. Pithopoeus (Pantin, 1995, p. 69), de Tycho Brahe (Copernic, 2015, vol. 1, p. 458), de J. Stadius (Bernès, 1995, p. 125) ou encore de Pontus de Tyard (1587/2010, p. 59) en témoignent suffisamment.

Si Mastri da Meldola et Belluti illustrent bien l'hostilité envers notre analogie dont furent capables les non-coperniciens chrétiens, ils ne nous en livrent pas explicitement la raison. Tournons-nous donc vers Riccioli et Eschinardi pour connaître leur motivation.

5.3.2. Giovanni Battista Riccioli

Au sein de l'impressionnante et célèbre liste de 126 arguments *pro* et *contra* Copernic dressée et intelligemment commentée, dans l'*Almagestum novum* (1651), par ce partisan du géohéliocentrisme qu'était le jésuite et astronome italien Giovanni Battista Riccioli (1598-1671), aucun argument ne fait explicitement mention de notre analogie. Toutefois, l'un d'entre eux, à savoir le dixième en faveur du mouvement diurne de la Terre, fait valoir notre principe de convenance selon lequel il serait ridicule de faire mouvoir les étoiles fixes, qui sont comblées, au profit d'une Terre indigente. Cependant, le développement, présent au sein du livre, auquel cet argument renvoie mentionne, lui, notre analogie telle qu'elle a été exposée, une vingtaine d'années plus tôt, par Lansberge :

« Lansbergius appuie cet argument dans la rédaction du Progymnasmata[25], à savoir que le mouvement est une moindre gêne pour la terre que pour les étoiles : tout comme une mère fait tourner

25. N'ayant pas retrouvé cette analogie dans le *Progymnasmatum astronomiæ restitutae liber I*, il semblerait que Riccioli confonde avec les *Commentationes in motvm Terrae diurnum, & annuum*.

> plus facilement ses enfants autour d'un feu, pour les réchauffer, plutôt que de faire circuler la flamme ardente autour d'eux. Ce qu'en effet ce dernier dit du mouvement annuel vaut aussi, si cela a quelque cohérence, pour le mouvement quotidien. » (Riccioli, 1651, vol. 2, pp. 319-320).

C'est donc avec la certitude que ce dixième argument appartient bel et bien au contexte de notre analogie que nous pouvons maintenant le découvrir :

> « Dixième argument. Il semble absurde, voire ridicule, que des étoiles fixes et leur système sphérique à ce point vaste et totalement libre et indépendant de la Terre et de toute réalité terrestre soit en mouvement autour de la Terre si quelconque et ait le bénéfice et le bien-être de la Terre comme finalité de son propre mouvement. En lieu et place de la Terre, qui, elle, dépend des couches supérieures et a besoin de leurs influx. C'est donc la Terre, et non les couches supérieures, qui est mue selon le mouvement diurne. » (Riccioli, 1651, vol. 2, p. 467).

Ce à quoi Riccioli répond en renvoyant d'abord à sa réfutation de l'argument précédent (relatif à la fixité de la distance séparant les étoiles les unes des autres), avant de poursuivre :

> « La Terre, assurément comprise avec les êtres vivants, surtout ceux doués de raison, est plus considérable que les couches supérieures en raison de sa plus grande qualité et de sa substance plus élevée. Si elle a besoin des couches supérieures et des étoiles, c'est non à titre de dominatrices, mais de servantes. Ces dernières ainsi sont mues pour le bien des hommes, comme on le lit dans les Saintes Écritures, avec cependant la gloire de Dieu comme fin dernière. » (Riccioli, 1651, vol. 2, p. 467).

Riccioli récuse donc notre principe de convenance au profit de cet autre principe de convenance, jugé autrement plus impérieux, selon lequel il revient au serviteur de se mouvoir au profit de la fin qui lui a été assignée par le Créateur. Dans la lignée de l'analyse logique que nous avons menée dans notre introduction, le célèbre jésuite assume bel et bien une inconvenance immédiate au nom d'une convenance supérieure.

Terminons ce parcours de quelques représentants de la pensée chrétienne non-copernicienne par Eschinardi qui, non content de se rencontrer avec Riccioli à propos de la cause profonde de son opposition au mouvement de

la Terre, présente le double intérêt de faire un usage raisonné des arguments de convenance et de manifester la manière dont il les tourne à son avantage.

5.3.3. Francesco Eschinardi

Dans le *De Astronomia* de son *Cursus physicomathematicus* publié en 1689, mais sans doute rédigé antérieurement, le jésuite et géocentriste italien Francesco Eschinardi (1623-1703) étudie, au chapitre 8, le système égyptien, puis le système copernicien, et enfin le système tychonien qui lui donne alors l'occasion d'affirmer que, jusqu'à présent du moins, l'expérience [*experientia* et non *phaenomena*] s'accorde aussi bien avec l'hypothèse d'une Terre immobile que mobile. Toutefois, une telle équivalence contextuelle n'empêche pas cet auteur de combattre [*impugnare*], mais *a priori*, l'hypothèse de la mobilité de la Terre à l'aide de deux arguments. Le premier, formulé antérieurement (Eschinardi, 1689, p. 119 ; trad. Mayaud, 2005, vol. 3, p. 1274), vise le fait qu'il convient mieux d'assigner le centre du mouvement vrai et physique des planètes à la Terre plutôt qu'au Soleil. Quant au second, il l'énonce comme suit :

> « De nouveau je combats en apportant cet exemple même que les Coperniciens ont coutume d'avancer : de même qu'il serait incongru que le Roi d'Espagne, devant parler ou entendre ses sujets aille vers eux plutôt que chacun d'eux ne vienne au Roi, ainsi il semble incongru que la terre, et donc les hommes pour lesquels ont principalement été faits le Soleil et les autres Planètes et les étoiles, tournent autour du Soleil etc., plutôt que le Soleil lui-même n'entoure l'homme pour son bénéfice et service, et que les autres Planètes en approchent tantôt moins, tantôt plus. » (Eschinardi, 1689, p. 178 ; trad. Mayaud, 2005, vol. 3, p. 1275).

C'est sur ces mots que, sans autre forme de conclusion, se termine le chapitre. Formulons quatre observations.

Premièrement, si Eschinardi n'est assurément pas le premier à faire preuve d'innovation en faisant appel, dans le cadre de notre analogie, à la figure du Roi (Cardoso l'avait déjà fait avant lui), son texte présente l'intérêt d'être beaucoup plus explicite que celui du médecin et philosophe portugais. Toutefois, alors que Cardoso proposait un exemple qui, dans son imprécision, pouvait s'apparenter à un mouvement de révolution du paysage autour d'un Roi immobile, celui d'Eschinardi vise explicitement un mouvement de translation rectiligne du Roi vers ses sujets ou de ceux-ci vers leur Souverain, soit un exemple semblable à celui déjà proposé naguère par Oresme. Par con-

séquent, cette comparaison d'Eschinardi constitue ni une variante de celle de Cardoso ni une nouvelle illustration de notre analogie, mais bien une nouvelle image de notre principe de convenance.

Deuxièmement, c'est suite au constat de l'équivalence « expérimentale » des deux hypothèses en présence qu'Eschinardi recourt, d'abord, à un argument a priori et, finalement, à un argument de convenance, sans pour autant estimer, visiblement, que ceux-ci sont à même de clore définitivement le débat. Comme nous l'avions déjà fait remarquer en traitant d'Oresme, il y a donc chez lui la conviction, consciente et raisonnée, que, dans les cas d'équivalence « scientifique », les arguments d'une autre nature peuvent être d'une certaine valeur, sans être pour autant pleinement démonstratifs.

Troisièmement, à l'exemple classique de l'inconvenance d'un feu qui serait astreint de tourner autour d'un rôti — inconvenance qui conduit généralement à plaider en faveur de l'héliocentrisme —, Eschinardi préfère privilégier cet autre exemple d'inconvenance qu'est celui d'un Roi qui devrait se déplacer pour pouvoir parler à ses sujets ou les entendre. Ce faisant, au lieu d'identifier ledit Roi au Soleil — comme toute l'histoire de la cosmologie, et le texte de Copernic en particulier[26], nous incite à le faire —, il peut, en associant ledit Roi à ce chef-d'œuvre de la Création qu'est l'homme et les sujets de ce Roi au Soleil, inverser la portée de notre analogie qui, dorénavant, plaide en faveur du géocentrisme ! Comme l'avait déjà fait Cardoso, à l'identification traditionnelle du Roi au Soleil, il suffit donc de substituer l'identification, tout aussi traditionnelle, du Roi à l'homme pour que la même analogie donne lieu à la conclusion exactement opposée à celle qui est habituellement la sienne ! Face à un argument de convenance qui, pour être persuasif, suppose l'adhésion à une conception anthropofinaliste du monde, on comprend qu'Eschinardi ait fait preuve de prudence en ne se permettant pas de conclure dans le sens qui remporte pourtant sa préférence.

Quatrièmement, au lieu d'invoquer notre principe de convenance, Eschinardi fait appel à cet autre principe de convenance selon lequel il incombe aux sujets de se déplacer pour leur Roi et aux serviteurs d'agir au profit de leur maître.

26. Tel est bien le cas lorsque Copernic présente le Soleil, « assis comme sur un trône royal », gouvernant la famille des astres (Copernic, 1543/2015, vol. 2, p. 38).

5.4. Les libres penseurs

Si la pensée chrétienne connaît un courant majoritaire, qui réfute le mouvement diurne de la Terre sur base de la conviction selon laquelle l'anthropofinalisme biblique s'identifie nécessairement avec l'oisiveté de cette même Terre, et un courant minoritaire, qui ne craint pas d'affirmer que ce même anthropofinalisme biblique peut être manifesté par une autre caractéristique astronomique que la traditionnelle immobilité de notre planète, la libre pensée, elle, semble unifiée autour d'une position commune déterminée par son opposition radicale au courant majoritaire que nous venons de rappeler : accepter le mouvement de la Terre, et donc notre analogie, comme la conséquence et même le symbole de son rejet de toute perspective anthropofinaliste.

5.4.1. François de La Mothe Le Vayer

En quittant, avec le libertin érudit François de La Mothe Le Vayer (1588-1672), les publications scientifiques pour nous tourner vers la littérature clandestine, nous rencontrons encore un autre usage de notre analogie : alors que Foscarini s'en était inspiré pour sauver la crédibilité de la Bible en montrant que sa manière de parler ne s'opposait pas à la théorie copernicienne, alors que Kepler s'en était servi pour établir la réalité de la rotation de la Terre, alors qu'Amico l'avait contestée pour ne pas devoir mettre en mouvement la Terre, l'auteur du *Dialogue traitant de la philosophie sceptique* (1630) y recourt, lui, parmi une kyrielle d'autres exemples, pour contribuer à fonder ce scepticisme dont il fait profession. En effet, en questionnant cette opinion qu'on croyait universellement reçue qu'est le mouvement du Soleil, il ne s'agit pas, pour La Mothe Le Vayer, de contester la physique aristotélicienne et/ou de s'engager scientifiquement en faveur de la réalité de la théorie copernicienne, mais bien, dans le cadre d'une conception seulement phénoménaliste de la science[27], de remettre en question la certitude d'une « supposition dogmatique » particulière (Torero-Ibad, 2009), quitte à n'utiliser, pour atteindre cet objectif, que des arguments de convenance.

---

27. Dans son *Dialogue sur le sujet de la divinité* (La Mothe Le Vayer, 1630, pp. 73-74 ; 1633/2015, p. 94), ce membre de la Tétrade tire profit de la liberté traditionnellement accordée aux astronomes dans l'élaboration d'un système cosmologique, pourvu que celui-ci sauve les phénomènes, pour affirmer qu'il en va de même à l'égard des religions : loin d'être intrinsèquement vraies ou fondamentalement pérennes, leur pertinence se mesure à l'aune de leur capacité relative à rendre compte des phénomènes moraux. Une conception trop réaliste des systèmes cosmologiques n'eût donc pas servi ses desseins.

C'est donc dans un tel contexte sceptique qu'Éphestion, le représentant de cette philosophie, annonce à son interlocuteur aristotélicien qu'il va contester l'idée, universellement partagée, selon laquelle le cours du Soleil est merveilleusement rapide, puisqu'il s'exécute en 24 heures, afin de pouvoir conclure, *in fine*, que, décidément, on ne peut être assuré de rien. Conformément à cet objectif, Éphestion non seulement relativise la rapidité qu'on prête au Soleil, mais va même jusqu'à soutenir qu'il serait plus décent de lui accorder une immobilité pure et simple, notamment au nom de notre principe de convenance :

> « N'est-il pas vrai que par une propension naturelle chaque chose semble avoir son mouvement vers ce dont elle a besoin, et qui lui est nécessaire, et non au contraire ? Ainsi l'animal se remue pour prendre son aliment, qui n'a nulle inclination à le venir trouver. Pourquoi dirons-nous donc que ce bel astre du tout indépendant de la masse terrestre [...] soit celui qui s'achemine et se tourne vers elle, puisque c'est la terre qui a besoin de sa lumière et chaleur et qui cherche les douceurs de ses influences fécondes. » (La Mothe Le Vayer, 1630, pp. 74-75 ; 1633/2015, pp. 94-95).

La Mothe Le Vayer recourt alors à notre analogie qu'il a très probablement découverte, par l'intermédiaire d'Élie Diodati (1576-1661), dans la *Lettera* de Foscarini[28] :

> « Que si la Nature, comme l'opinion contraire suppose, opère toujours par les voies les plus convenables et les plus courtes, quelle apparence y a-t-il qu'elle fît girouetter cette vaste et immense grandeur des cieux autour de ce petit globe de la Terre, qui n'est considérée que comme un point mathématique, puisque par une petite révolution d'icelui elle peut si facilement arriver à sa fin ; comme qui ferait mouvoir la cheminée, voire la maison entière, au lieu de tourner la perdrix qui est à cuire. Ce qui peut suffire, à mon avis, pour rendre vraisemblable qu'ou le soleil est immobile, ou que s'il se meut, on ne doit pas dire que ce soit avec une si grande et si précipitée vitesse. » (La Mothe Le Vayer, 1630, p. 75 ; 1633/2015, p. 95).

28. É. Diodati, qui traduisit la *Lettera* de Foscarini en latin pour l'ajouter aux éditions du *Systema cosmicum* de Galilée publiées en 1635, 1641 et 1663, fréquentait le cabinet des frères Dupuy à l'instar de La Mothe Le Vayer. C'est donc sûrement par son intermédiaire que ce dernier prit connaissance de cette *Lettera*. En tout cas, La Mothe Le Vayer fait explicitement référence à Foscarini dans le *Dialogue sur le sujet de la divinité* (cf. La Mothe Le Vayer, 1633/2015, p. 376).

Alors que le célèbre libre penseur venait de fermement signaler sa préférence pour l'héliocentrisme en faisant remarquer que celui-ci est à ce point assuré « qu'il reste peu de gens de savoir, s'ils ne sont dans la prévention et opiniâtreté pédantesque, qui ne reçoivent et agréent ce nouveau système de philosophie » (La Mothe Le Vayer, 1630, pp. 73-74 ; 1633/2015, p. 94), nous constatons que sa conclusion est bien plus prudente — mais suffisante eu égard à l'objectif recherché —, puisque, loin d'anéantir la « supposition dogmatique » visée, il invite seulement les géocentristes à conclure que le Soleil n'est pas aussi rapide qu'on ne le pense communément tout en laissant les coperniciens croire que sa vitesse est tout simplement nulle, puisqu'il demeure immobile au centre du monde !

Concernant notre analogie, nous ferons remarquer que, dans le sillage de Kepler, son expression continue à se modifier : après l'irruption du cuisinier, voici que le rôti est remplacé par une perdrix et, comme s'il fallait amplifier la comparaison pour encore mieux en faire ressortir l'absurdité, ce n'est plus le feu qui est appelé à tourner autour de la viande, mais carrément « la cheminée, voire la maison entière » (La Mothe Le Vayer, 1630, p. 75 ; 1633/2015, p. 95).

5.4.2. Savinien de Cyrano de Bergerac

Dans un passage célèbre de *L'Autre monde ou les États et empires de la Lune* (1657) (Cyrano de Bergerac, 1657/2000, pp. 16-17), Savinien de Cyrano de Bergerac (1619-1655) justifie d'abord la position centrale du Soleil dans l'héliocentrisme en faisant valoir qu'elle est idéale pour deux raisons. Premièrement, pour que ce « feu radical » puisse satisfaire « promptement » aux besoins de tous les corps qui sont dans la nature en étant placé au milieu d'eux à l'instar de la « sage nature [qui] a placé les parties génitales dans l'homme, les pépins dans le centre des pommes, les noyaux au milieu de leur fruit », soit la transposition d'un argument tout à fait classique déjà utilisé pour justifier la position du Soleil… dans le géocentrisme (Stoffel, 0000) ! Deuxièmement, pour que l'astre du jour, tel un roi « qui habite au cœur du royaume », soit protégé par cette position particulière, à l'instar de l'oignon conservant, « à l'abri de cent écorces qui l'environnent », le précieux germe qui constitue « le petit soleil » de son « petit monde », soit un argument, lui aussi, déjà avancé pour expliquer la position de l'astre du jour… dans le même géocentrisme (Stoffel, 2002, pp. 1208-1211) !

Après avoir ainsi prétendu que, dans l'héliocentrisme, la position de l'astre du jour est parfaitement adéquate à sa fonction de *dispensateur* de bien-

faits — quand, on s'en souvient, les géocentristes avaient soutenu qu'elle était particulièrement appropriée à *recevoir* —, Cyrano de Bergerac fait de même avec le mouvement de la Terre en montrant qu'il est tout aussi adapté à sa fonction de *réceptrice* des bienfaits émanant de l'astre du jour — quand, par une stricte inversion des rôles, les géocentristes avaient tenu ce mouvement comme étant accommodé à *disséminer*. À cette occasion, il emprunte à La Mothe Le Vayer notre analogie[29], tout en ne manquant pas de l'enrichir de nouveaux exemples et de substituer « alouette » à « perdrix » :

> « Cela donc supposé [= la position héliocentrique du Soleil], je dis que la terre ayant besoin de la lumière, de la chaleur et de l'influence de ce grand feu, elle se tourne autour de lui pour recevoir également en toutes ses parties cette vertu qui la conserve. Car il serait aussi ridicule de croire que ce grand corps lumineux tournât autour d'un point dont il n'a que faire, que de s'imaginer, quand nous voyons une allouette rôtie, qu'on a, pour la cuire, tourné la cheminée à l'entour. Autrement si c'était au soleil à faire cette corvée, il semblerait que la médecine eût besoin du malade ; que le fort dût plier sous le faible, le grand servir au petit ; et qu'au lieu qu'un vaisseau cingle le long des côtes d'une province, on dût faire promener la province autour du vaisseau. » (Cyrano de Bergerac, 1657/2000, pp. 17-18).

Ce passage, distinct de celui où le personnage du roman voit tomber du ciel une douzaine d'alouettes rôties et prêtes à être mangées (Cyrano de Bergerac, 1657/2000, p. 72), appelle plusieurs commentaires.

Premièrement, l'exemple repris à Gassendi du « vaisseau [qui] cingle le long des côtes d'une province » n'est pas identique ni à l'exemple original de la chair rôtissant à la broche ni aux variantes qui lui ont été ajoutées jusqu'ici : alors qu'il s'agissait traditionnellement de remettre en question l'attribution d'un mouvement (de révolution) au comblé et de recommander l'attribution d'un mouvement (de rotation) à l'indigent, c'est ici un mouvement de

29. D'un point de vue lexicographique, la substitution du terme « cheminée » à celui de « feu » donne à penser que l'auteur de *L'Autre monde* a repris, sans surprise, l'image à La Mothe Le Vayer. Un tel lien de dépendance était évidemment déjà affirmé, mais sans justification aucune (La Mothe Le Vayer, 1633/2015, p. 95, n. 244). Pour une défense de la thèse selon laquelle Cyrano de Bergerac a connu, partiellement ou totalement, les Dialogues de La Mothe Le Vayer, cf. Mothu, 1999, pp. 207-209. Combinée au remplacement, en soi dépourvu de tout intérêt, de « perdrix » par « alouette », cette substitution de « cheminée » à « feu » permet d'établir d'autres liens de dépendance, comme celui de H. Lecouturier à l'égard du même La Mothe Le Vayer.

translation (vraisemblablement rectiligne) qui est alloué au vaisseau cinglant le long des côtes, soit un mouvement qui se rapproche davantage de celui évoqué par Oresme (celui des éléments vers leur lieu naturel). Cette prise de liberté par rapport à notre analogie n'est cependant pas dirimante, puisque — rappelons-le — ce que recommande notre principe de convenance, c'est seulement l'attribution d'un mouvement à l'être indigent et d'un état de repos à l'être comblé et non pas l'affectation d'un mouvement spécifiquement rotatoire.

Deuxièmement, alors que le récit conduisait à s'interroger uniquement sur le mouvement diurne de notre planète — comment, en s'étant élevé à la perpendiculaire au-dessus de Paris peut-on, en redescendant à la verticale, arriver à Québec au lieu de retrouver son point de départ ? —, l'argument produit plaide explicitement (« autour de lui ») en faveur de son mouvement annuel, de sorte que le lecteur est convié, seulement *implicitement*, à ajouter *nécessairement* un mouvement diurne. L'argument tel qu'il est ici présenté n'est donc pas conforme à sa version originale, puisqu'il met en exergue ce qui était auparavant laissé indistinct. En effet, étant donné qu'il serait aussi ridicule de croire que le Soleil tourne autour de la Terre que d'imaginer que la cheminée tourne autour de l'alouette ou que la province se promène autour du vaisseau, car cela donnerait à penser erronément que c'est la médecine qui a besoin du malade, que c'est le fort qui doit plier sous le faible et que c'est le grand qui est astreint à servir le petit, Cyrano de Bergerac conclut que la réalité est à l'inverse : c'est la Terre qui « se tourne autour » du Soleil. Mais une fois ce mouvement de révolution bel et bien accordé à notre planète, la condition posée — recevoir également en toutes ses parties de quoi combler ses besoins de lumière, de chaleur et d'influence en provenance du Soleil — n'est pas encore satisfaite, puisque la Terre, présentant toujours la même face au Soleil, serait brûlée d'un côté et frigorifiée de l'autre. Il faut donc encore lui ajouter le seul mouvement qui soit véritablement apte à remplir ladite condition, à savoir un mouvement de rotation sur elle-même. Mais notre libertin n'en dit mot. À partir du même principe de convenance, les Anciens s'interrogeaient sur la possibilité de répondre à l'inconvenance constatée en attribuant un mouvement de rotation à une Terre restée, dans un cas comme dans l'autre, privée de tout mouvement de translation. La question de savoir s'il fallait en outre, pour respecter parfaitement cette analogie, arrêter le mouvement de révolution du Soleil n'était pas discutée. Cyrano de Bergerac, lui, « oublie » que l'alouette en train de cuire peut fort bien rester immobile devant la cheminée pour autant qu'elle soit animée d'un mouvement de rotation.

Troisièmement, nous constaterons que pour justifier aussi bien la position du Soleil que l'état de mouvement de la Terre, Cyrano de Bergerac ne fait pas appel à des arguments proprement scientifiques, mais seulement à des arguments de convenance. Plus précisément, il invoque des arguments finalistes : pour pouvoir exercer ses bienfaits, le Soleil doit avoir telle position et pour pouvoir bénéficier de ceux-ci, la Terre doit être dans telle situation et dans tel état de mouvement. S'il y a donc une différence entre l'argumentation du libertin Cyrano de Bergerac et celle de bon nombre de ses devanciers, celle-ci ne tient pas tant à la nature des arguments utilisés — ils demeurent, du moins en certains endroits de l'œuvre, finalistes —, qu'aux êtres concernés, *in fine*, par ce finalisme : autrefois l'homme, aujourd'hui les corps célestes exclusivement. Cette différence, qui signale la persistance d'une perspective finaliste malgré le rejet de tout point de vue spécifiquement anthropofinaliste, participe de ce nouvel état d'esprit qui est en train d'émerger et que nous allons maintenant étudier.

5.5. La mécanisation de notre analogie

Bien qu'un premier indice de la nouvelle compréhension mécaniste de notre principe de convenance semble être présent dès le texte de Kepler, c'est assurément, quinze ans plus tard, chez Galilée (1564-1642) qu'on en trouve la trace la plus intéressante. Si, parmi les occurrences de notre analogie qui se rencontrent au XVIIIe siècle, celles d'Eschinardi, de Geiger et de Cohn, parfaitement conformes à l'esprit religieux le plus classique, ne sont aucunement révélatrices du nouvel état d'esprit déjà annoncé par l'astronome florentin, il en va tout autrement de celles de Le Gendre et de Joannis qui, de manière complémentaire, manifestent l'emprise de cette nouvelle conception mécaniste du monde.

5.5.1. Galileo Galilei

Dans la deuxième journée de son *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* (1632), l'illustre florentin lui-même n'a pas hésité à faire une allusion (normalement[30]) transparente à notre analogie. Dans l'expression de celle-ci, nous avons observé, avec La Mothe Le Vayer, une amplification qui est également une substitution : ce n'est plus seulement le feu rôtisseur qui est contraint de tourner autour de la perdrix, mais bien la cheminée, voire la maison

30. Nous ferons toutefois remarquer qu'au sein d'une édition récente du *Dialogo*, cette allusion n'est aucunement identifiée (cf. Galilei, 1632/1998, vol. 1, pp. 124-125 et vol. 2, p. 367).

entière. Également assumée par Kepler et Lansberge, cette prise de liberté par rapport à l'expression canonique de notre analogie se poursuit avec Galilée. Dans la bouche de Sagredo — l'interlocuteur éclairé et sans a priori chargé, en cet endroit, d'exposer « les raisons qui semblent appuyer la mobilité [diurne] de la Terre » (Galilei, 1968, vol. 7, p. 141 ; trad. 1632/1992, p. 140) —, c'est cette fois la viande à rôtir qui est remplacée par un homme observant le paysage depuis le sommet de la coupole de Santa Maria del Fiore :

> « Admettons que les deux suppositions doivent entraîner exactement les mêmes conséquences pour tous les effets qui peuvent naturellement dépendre de ces mouvements, alors, à première vue et de façon générale, celui qui jugerait plus raisonnable de faire se mouvoir tout l'univers afin de maintenir la stabilité de la Terre me paraîtrait plus déraisonnable encore que l'homme qui, montant au sommet de votre Coupole pour donner un coup d'œil à la ville et à sa campagne, exigerait alors, pour ne pas se fatiguer en tournant la tête, qu'on fasse tourner tout le paysage autour de lui. » (Galilei, 1968, vol. 7, p. 141 ; trad. 1632/1992, p. 141).

S'il s'agit bien, comme dans l'analogie originelle, de choisir entre un mouvement de rotation (tourner la tête) et un mouvement de révolution (faire tourner le paysage), il est permis de penser que les modifications introduites par Galilée, loin d'être seulement dictées par un simple désir de contextualisation régionale, ne sont pas anodines : alors que jusqu'ici, notre analogie était gouvernée par un principe d'économie et par un principe de convenance lié à la nature intrinsèquement indigente ou comblée des êtres considérés, l'astronome florentin, en substituant l'homme au rôti et le paysage au feu, tend à effacer toute référence à l'existence de natures particulières. En effet, conformément à sa préoccupation de pourchasser l'attribution de toute qualité spécifique qui soit intrinsèque aux êtres considérés[31], il n'est plus question chez lui d'un être indigent et d'un être comblé, mais seulement de « l'immense masse que constitue la sphère étoilée comparée à la petitesse du globe terrestre » (Galilei, 1968, vol. 7, p. 141 ; trad. 1632/1992, p. 140) : un calcul de rentabilité en somme ! Au nom du principe d'économie — le seul à subsister ! —, refuser la mobilité diurne de la Terre serait donc encore plus déraisonnable et dispendieux que de faire tourner le paysage sous prétexte que celui qui veut l'admirer ne consent pas à tourner la tête. Bref, Galilée semble avoir voulu « déontologiser » notre analogie. Plus prosaïquement

31. Nous songeons bien sûr à la lettre de Galilée à Gallanzone Gallanzoni du 16 juillet 1611 (Galilei, 1968, vol. 11, pp. 146-148 ; trad. Clavelin, 2004, pp. 173-176) et à *Il saggiatore* (Galilei, 1968, vol. 6, p. 319 ; trad. Galilei, 1623/1980, p. 215).

et au vu des sarcasmes qui seront bientôt provoqués par l'origine culinaire de cette analogie, on peut aussi penser que l'astronome florentin ait estimé judicieux de l'amender quelque peu, pour la rendre tout à la fois plus sympathique, par la référence à la célèbre coupole florentine, et plus respectable, par la suppression de tout indice qui puisse trahir son origine culinaire.

5.5.2. Gilbert-Charles Le Gendre

Dans son *Traité de l'opinion ou mémoires pour servir à l'histoire de l'esprit humain* devenu *Traité historique et critique de l'opinion* lors de la troisième édition sur les quatre que connaîtra cette œuvre entre 1733 et 1758, le marquis Gilbert-Charles Le Gendre (1688-1746), qui exerçait de hautes fonctions judiciaires et administratives, constate explicitement, dès cette troisième édition, que le système de Copernic « est le plus simple & le plus généralement suivi »[32], tout en se proposant néanmoins de lui apporter le changement « qui, de cinq mouvements attribués au globe de la Terre, en retranche trois »[33]. Si, de la première à la dernière édition, le texte de cette œuvre se modifiera abondamment au point de passer de six à neuf volumes, il est cependant un passage qui restera toujours présent (au moins depuis 1735[34]), à savoir celui — inspiré de La Mothe Le Vayer comme en témoignent les termes « perdrix », « cheminée » et « maison » — relatif à la chair rôtie à la broche :

> « Si l'on compare les deux systêmes de Ptolémée & de Copernic, on avouera malgré la prévention qui incline pour le repos de la terre, que c'est bien plûtôt à la terre, à tourner autour du soleil, dont elle a besoin pour sa fécondité, & dont elle tire la lumiére & le mouvement ; au lieu que le systéme de Ptolémée est semblable à la description qu'un homme donneroit de la maniére dont on fait rotir une perdrix, en disant que la cheminée, & même toute la maison tourne autour de cette perdix. » (Le Gendre, 1735, pp. 316-317).

Cette citation appelle deux remarques.

Premièrement, nous noterons que le mouvement attribué à notre globe est d'emblée un mouvement de révolution (et non de rotation), ce qui permet d'identifier directement le « bon » état dynamique de la Terre, à savoir

32. Le Gendre, 1741, p. 657, à comparer avec le texte des éditions précédentes.
33. Le Gendre, 1741, p. 12, à comparer avec le texte des éditions précédentes.
34. Nous n'avons pas eu accès à la première édition de ce volume (1733), mais seulement à la deuxième (1735).

le mouvement, avec Copernic et le « mauvais », à savoir le repos, avec Ptolémée, alors que le mouvement de rotation initialement envisagé permettait, lui, de concevoir tout à la fois une « bonne » et une « mauvaise » solution au sein d'un même système cosmologique, en l'occurrence le géocentrisme. Par cette « trahison » à l'égard de sa version originale, il est encore plus manifeste que précédemment que notre analogie a, purement et simplement, été récupérée au profit de l'héliocentrisme.

Deuxièmement, nous ferons remarquer que, de manière très significative, cet extrait de l'œuvre de Le Gendre a été modifié, en une vingtaine d'années, dans le sens d'une mécanisation du monde. En effet, alors que le texte de 1735 — que nous venons de citer — faisait référence au Soleil « dont [la Terre] a besoin pour sa fécondité, & dont elle tire la lumiére & le mouvement », celui de 1758 écrit plus succinctement : « dont [la Terre] tire le mouvement, la lumiere & la fécondité » (Le Gendre, 1758, p. 92). Non seulement le terme « besoin » a disparu — bien qu'il soit au fondement même de notre analogie, puisque celle-ci est censée opposer un être indigent à un être comblé —, mais en outre la permutation des mots « fécondité » et « mouvement » place prioritairement l'action solaire dans le domaine de la mécanique et, seulement en dernier lieu, dans celui, à connotation vitaliste, de la fécondité. Voilà une preuve, discrète mais significative, du nouvel état d'esprit en vigueur.

Si nous examinons maintenant la justification donnée à l'appui de l'affirmation que nous venons de commenter, nous trouverons un second indice de ce même état d'esprit :

> « En effet n'est-ce pas une chose incompréhensible, que toute cette masse presque infinie du ciel, ces globes innombrables, incomparablement plus grands que la terre, tournent autour de cette terre, & d'un mouvement dont la rapidité est inconvenable, au lieu que dans le systéme Copernicien, la terre par son mouvement journalier sur son axe, ne fait que cinq lieuës, ou environ en une minute : mouvement dont la rapidité ne surpasse celle d'un boulet de canon, qu'environ du double. » (Le Gendre, 1735, p. 317).

Face au constat — non pas radicalement différent, mais foncièrement identique à celui qui était déjà posé par les géocentristes[35] — d'une disproportion radicale entre la Terre et le ciel, notre auteur (qui revient cette fois

35. Contrairement à un cliché historiographique parfois encore répandu, le cosmos aristotélico-médiéval n'était absolument pas perçu, par les Anciens, comme étant à « échelle

à un mouvement de rotation) souligne, lui aussi, une incompréhensibilité (nous parlions d'une « inconvenance »), mais qui, chez lui, se pose et se résout différemment. Posée seulement en termes dynamique et non plus hiérarchique, cette incompréhensibilité doit, en outre, être corrigée et non plus dépassée : il serait en effet incompréhensible de persister à vouloir faire tourner, avec une vitesse inconcevable, des astres si nombreux et si grands autour de la Terre alors qu'il suffit d'attribuer à cette dernière une vitesse qui n'est que le double de celle d'un boulet de canon. Décidément, si notre analogie est encore présente, son esprit, lui, est décidément bien différent : déontologisé, définalisé, déhiérarchisé, il s'est mécanisé.

5.5.3. Abbé de Joannis

Bien qu'ils soient susceptibles d'être restés davantage attentifs à la *philosophia perennis*, les représentants de la pensée chrétienne ne semblent pas épargnés par ce changement global de mentalité. En témoigne la petite publication de 28 pages, largement méconnue et émanant d'un auteur qui l'est tout autant, intitulée *Réflexions sur l'origine de l'astronomie* et publiée en 1747 par un certain abbé de Joannis, dont il est certain qu'il n'a guère de sympathie pour l'héliocentrisme, sans qu'on puisse pour autant être assuré qu'il soit demeuré géocentriste. Si cet écrit mérite d'être signalé, c'est uniquement en ce qu'il permet de toucher jusqu'aux pensées des gens moyennement instruits de l'époque et de prendre conscience de la diffusion, même dans ces couches de la population, de notre analogie.

Regrettant que Copernic, dont la « profession auroit dû [l']éloigner de tout genre d'*hostilités* » (Joannis, 1747, p. 24), fasse partie, avec Galilée et Descartes, des « trois Astronomes, qui semblent avoir *conspiré* l'extinction totale du systême ptolémaïque » (Joannis, 1747, p. 23) et que, « par surcroît d'*attentat* », il ait ôté à la Terre son immobilité après avoir imaginé que cette « Terre oisive & sédentaire depuis tant de siécles, devoit pirouetter à son tour dans la matière éthérée, & servir le Soleil, qui pendant si long-temps fut son *domestique*, ou son *esclave* » (Joannis, 1747, p. 24)[36], l'abbé de Joannis nous livre — du moins croit-il — un des arguments de Copernic :

humaine » : ceux-ci savaient et proclamaient que la Terre est comme un point vis-à-vis de la voûte céleste.

36. Dans ces quelques citations dont nous avons accentué certains termes, nous découvrons un beau témoignage de cette interprétation traditionnelle de la révolution copernicienne selon laquelle l'astronome polonais, par son geste, nous aurait infligé une profonde humi-

> « Se persuadera-t-on (disoit Copernic) qu'un corps d'une grosseur aussi énorme que le Soleil, tourne autour de la Terre, qui lui est si inférieure en volume ; & dans le cas de tournoyement, n'est-il pas vrai que le petit doit faire le Tourne-broche, à l'égard du plus grand ? » (Joannis, 1747, p. 24).

Mais ce raisonnement selon lequel il n'est guère probable qu'un corps, comme le Soleil, puisse tourner autour d'un autre qui lui très inférieur en dimensions est, commente-t-il, un « mauvais raisonnement » (Joannis, 1747, p. 25), car il porte atteinte à la toute-puissance de Dieu. De plus, fait-il observer quelques pages plus loin en parlant cette fois de Descartes, l'opinion, « qui est aujourd'hui tant à la mode », selon laquelle « la Terre cherche en tournant autour du [Soleil], la chaleur, la lumière, & tous les avantages qui en émanent » (Joannis, 1747, p. 27) a déjà été professée il y a 2.000 ans sans avoir pour autant été admirée.

Si l'étonnement suscité par l'immobilité de la Terre, associée à une forme d'oisiveté, et par la mobilité du Soleil, présentée comme une forme d'esclavage, est conforme à celui qui était déjà de mise au XIVe siècle lors de l'apparition attestée de notre analogie, prenons bien soin de faire remarquer que la cause de cet étonnement a changé de nature : elle est, dorénavant, de voir « un corps d'une grosseur aussi énorme » être astreint de tourner autour d'un autre « qui lui est si inférieure en volume », alors que, dans notre expérience quotidienne (comme celle de la chair rôtie à la broche), c'est au contraire le petit qui circule autour du plus grand. Tel n'était absolument pas le raisonnement autrefois en vigueur qui, sans se soucier le moins du monde des dimensions des corps en présence, s'attachait à repérer ceux qui étaient comblés et ceux qui s'avéraient indigents. Conformément à la mécanisation du monde en vigueur aussi bien dans la pensée scientifique que philosophique, ce qui était un raisonnement purement qualitatif a donc été traduit en termes quantitatifs : le comblé est devenu celui qui est le plus grand et l'indigent celui qui est le plus petit. Parce qu'il est un homme de son temps, l'abbé de Joannis, loin de s'apercevoir de cette trahison envers l'esprit qui gouvernait ce raisonnement, ne peut plus y opposer que l'argument traditionnel — et oh combien usé — de la toute-puissance de Dieu.

liation. Pour une présentation générale de cette interprétation et de sa fausseté, cf. Stoffel, 1998.

5.6. Les géocentristes juifs

Bien que notre analogie ait été fréquemment rejetée par des chrétiens (à moins qu'ils ne soient coperniciens), il ne faudrait pas en conclure que seuls des membres de cette religion se sont attachés à la réfuter : à l'instar de la plupart des chrétiens et pour la même raison qu'eux, les juifs Cardoso, en 1673, et Cohn, en 1707, ne manqueront pas, eux aussi, de la récuser.

5.6.1. Isaac Cardoso

Élevé comme catholique avant de vivre ouvertement comme juif et de changer son prénom en Isaac, le médecin, philosophe et géocentriste portugais Fernando Cardoso (1604-1683) a publié, en 1673, sa *Philosophia libera in septem libros distributa* alors qu'il vivait, comme juif, dans le ghetto de Vérone. Dans cet ouvrage, notre analogie figure au sein de la liste des douze arguments en faveur du système héliocentrique que suit une autre liste, de treize arguments cette fois, contre ledit système et qui a emporté l'adhésion finale de Cardoso (1673, pp. 21-23 et pp. 24-26; Brown, 2013, pp. 83-87).

Avant d'en venir spécifiquement à l'argument faisant appel à notre analogie, il n'est pas inutile d'analyser brièvement ces deux listes afin d'examiner la part qui y revient aux arguments de convenance et au nôtre en particulier. Alors que la liste contre Copernic comporte, en première position, un argument scripturaire (les versets de la Bible qui décrivent un cosmos géocentrique), puis, de façon mélangée, trois arguments « rationnels » (un univers géocentrique est plus raisonnable) et huit arguments « expérimentaux » (l'absence de soutien expérimental en faveur de l'héliocentrisme), pour se terminer par un argument que l'on pourrait qualifier de convenance (l'immobilité, plus que le mouvement, est propice à tout ce que la Terre doit produire comme plantes et animaux), la liste en faveur de Copernic, elle, est constituée de sept arguments de convenance (elle débute d'ailleurs par trois arguments de cette nature), de trois arguments « expérimentaux » et de deux arguments « rationnels ». En dépit du caractère éventuellement discutable de certaines de nos qualifications et de la confusion qui caractérise ces arguments (comme l'a fait remarquer J. Brown [2013, p. 85], il s'agit souvent de « variations sur un même thème plutôt que de nouveaux arguments » bien distincts), cette disparité est, d'emblée, digne d'être remarquée. Nous y reviendrons.

Il est fait appel à notre analogie au sein du neuvième argument qui a été présenté comme étant, de concert avec le onzième, une variation du deu-

xième (Brown, 2013, pp. 84-85). En réalité, si les deuxième et onzième arguments développent la même idée sur base d'analogies différentes, le neuvième, lui, se présente davantage comme un recueil destiné à illustrer le fait que les coperniciens « produisent des similitudes variées pour appuyer cette opinion concernant le mouvement de la Terre » (Cardoso, 1673, p. 22). En effet, dans le deuxième argument, Cardoso rapporte l'allégation selon laquelle étant donné, d'une part, que le centre de l'univers est le lieu le plus noble du monde et, d'autre part, que le Soleil est le corps le plus éminent de ce même monde, il convient que le lieu le plus noble revienne au corps le plus éminent. À l'appui de cette affirmation, il relate que l'astre du jour « a dû être placé au centre, pour répandre ses rayons également à partir d'un point central dans toutes les parties du monde », à l'image « de la lanterne au milieu de laquelle est placée la lumière » (Cardoso, 1673, p. 21). Dans le onzième argument, il mentionne également, entre autres, que le Soleil doit être localisé au centre de l'univers pour pouvoir « diffuser très généreusement les rayons concentrés de sa lumière en tous lieux », mais en rappelant cette fois l'analogie traditionnelle établie avec la position judicieuse du cœur au centre du corps qui permet à cet organe de « répandre de là les forces vitales dans tous les membres » (Cardoso, 1673, p. 22). Dans le neuvième argument en revanche, il se contente de rapporter des exemples de ces « similitudes variées » auxquelles recourent les coperniciens. Il en mentionne cinq qu'il classe selon leur auteur (Copernic, Galilée, Kepler et enfin Gassendi) sans se soucier de l'apparentement qu'elles peuvent avoir les unes avec les autres. Après Copernic et son invitation à positionner le Soleil comme on placerait une lanterne au milieu de la pièce qu'elle est chargée d'éclairer en tous points (Copernic, 1543/2015, vol. 2, p. 38) — soit ce qui constitue effectivement le cœur des deuxième et onzième arguments —, vient notre analogie telle qu'elle a été revisitée par Galilée :

> « Galilée produit l'image d'une hauteur, sur laquelle serait posé un homme qui chercherait à examiner une cité tout entière et qui, pour réaliser cela, exigerait que la ville tout entière défile devant ses yeux, pour lui éviter l'effort de bouger la tête et de tordre le cou vers l'une ou l'autre de ses parties. Vraiment cet homme serait digne d'une moquerie et nous ne serions donc pas moins ridicules sur terre, si, pour admirer la merveilleuse machinerie céleste, nous voulions que toute cette masse défile continuellement sous nos yeux plutôt que de nous mouvoir autour d'elle et de l'examiner progressivement. » (Cardoso, 1673, p. 22).

Après le célèbre argument galiléen visant à observer le comportement de poissons, qui se trouvent enfermés dans un bocal lui-même situé dans la cabine d'un navire, afin de tenter de déterminer si celui-ci navigue ou est resté immobile au port (Galilei, 1632/1992, pp. 204-205), Cardoso revient à notre analogie, mais telle qu'elle a été plus fidèlement relatée par Kepler :

> « Kepler se sert d'une image empruntée à la cuisine, où en effet les viandes embrochées sont exposées à un feu, où ce n'est pas le feu qui tourne autour des viandes, mais la broche qui tourne autour du feu, tandis que le feu reste fixe. Et puisque le soleil est comme un feu réchauffant et éclairant la terre, pour la féconder de sa chaleur, il sera plus vraisemblable que la terre présente alternativement une face, puis l'autre face au soleil fixe et immobile, pour être réchauffée d'un côté, puis de l'autre, plutôt qu'au contraire ce soit le soleil qui tourne autour de la terre. » (Cardoso, 1673, p. 22).

Ce neuvième argument se termine alors par une adaptation des commentaires donnés par Gassendi dans son *De motu impresso a motore translato* (Gassendi, 1642, pp. 108-109; 1658, vol. 3, p. 506).

Étant géocentriste, Cardoso se doit de répondre aux trois arguments que nous venons de présenter. Alors qu'il répond classiquement au deuxième en affirmant que « la terre est plus noble que le ciel lui-même », et donc que le Soleil, parce qu'elle est « le cadre de vie de la plus estimable des créatures physiques, de l'homme en particulier, pour qui Dieu a créé le monde » (Cardoso, 1673, p. 26), il s'attache à contester les « similitudes » établies au sein des deux autres arguments. Ainsi, pour le onzième, il rappelle — ce qu'avait déjà fait, par exemple, Nicole Oresme (1377/1968, p. 516, lignes 43-46) — que « le cœur n'est pas au milieu du corps humain, mais [bien] le nombril », avant d'ajouter que, de manière générale, « l'analogie entre les deux mondes, le macrocosme et le microcosme n'est pas vérifiable sur tous les points » (Cardoso, 1673, p. 27). Il fait de même, fort brièvement, pour l'argument qui nous intéresse, à savoir le neuvième :

> « Ces exemples et d'autres similaires sont contestables au profit d'autres exemples. Notamment plus approprié est le rapprochement qui est pris d'un Décor changeable en présence du Roi entouré de ses fonctionnaires. » (Cardoso, 1673, p. 26).

Concernant tout d'abord le « rapprochement plus approprié » qu'il propose en faisant appel, de manière inédite dans un tel contexte, à la figure du roi, Cardoso ne s'explique pas davantage. Toutefois, s'agissant d'une réfutation de ceux qui conduisent à vouloir faire tourner la Terre autour du Soleil,

nous sommes conduits à supposer que le décor ici visé représente, selon une association largement attestée, le Soleil et/ou surtout le ciel et que le Roi — conformément à l'anthropofinalisme dont il a fait preuve dans sa réfutation du deuxième argument — symbolise ici non pas le Soleil, mais bien l'homme, et par conséquent la Terre. Cela étant supposé, nous arrivons bel et bien à la représentation géocentrique d'un ciel servant de décor constamment changeant pour ce Roi de la Création qu'est l'homme. Le texte, plus explicite, d'Eschinardi viendra, dans quelques instants, conforter cette conjecture.

Concernant enfin la remarque générale par laquelle il introduit cette réfutation, à savoir que ces « similitudes » peuvent être contestées au profit d'autres « similitudes » tout aussi vraisemblables, c'est la deuxième critique que l'on peut adresser aux analogies et même aux arguments de convenance : après celle, déjà signalée, du caractère infalsifiable d'un même argument de convenance, voici celle du statut quo embarrassant auquel aboutit la confrontation d'exemples différents façonnés à l'aune d'une même analogie. Une quarantaine d'années plus tôt, le polygraphe et géocentriste français Charles Sorel (c. 1582-1674) avait déjà formulé une critique analogue dans *La science des choses corporelles* (1634). Après avoir rapporté notre principe de convenance en faveur du mouvement de la Terre (Sorel, 1634, p. 120) et l'avoir contrecarré fort traditionnellement (il est plus opportun de dire qu'il revient « au Soleil & à tous les Astres de se pourmener [= promener] autour [de la Terre] », car « ils ne sont faits que pour luy donner la lumiere »), Sorel concluait :

> « Toutes ces raisons de bienseance ne determinent rien ; l'on en treuve tousiours autant d'une part que d'autre, pource qu'elles prennent leur exemple de quelques usages differens & incertains. » (Sorel, 1634, pp. 123-124).

On comprend maintenant la raison de la disparité initialement signalée : en multipliant et en privilégiant, dans la liste en faveur de l'héliocentrisme, les arguments de convenance, Cardoso s'est attaché à affaiblir la portée de cette énumération ; en favorisant, dans la liste adverse, les arguments « rationnels » et « expérimentaux », il a voulu faire ressortir le contraste entre les deux listes et ainsi renforcer celle qui doit, selon lui, emporter l'adhésion de ses lecteurs.

6. Une malheureuse réapparition au XIXe siècle

Au XIXe siècle, les mentions de notre analogie connaissent une importante recrudescence : explicitement ou allusivement, on la retrouve chez bien des savants, des vulgarisateurs, ou même des écrivains tels que Jules Verne (1828-1905)[37]. Chacun imaginera, bien sûr, que ce retour en force de notre analogie est lié à la mise en évidence de la rotation terrestre grâce à l'expérience, menée en 1851, du pendule de Léon Foucault (1819-1868). Malheureusement, il n'en est rien ! Le principal responsable de cette recrudescence n'est autre qu'un littérateur pour le moins fantasque : Louis-Sébastien Mercier.

6.1. Louis-Sébastien Mercier

C'est au cours de la dernière décennie de sa vie que l'écrivain français Louis-Sébastien Mercier (1740-1814), l'inoubliable auteur du *Tableau de Paris* (1781-1790, 12 vol.), se mêle d'un domaine qui lui est tout à fait étranger, celui des sciences, en lançant, avec une sincérité à la hauteur de sa naïveté, une expédition punitive, menée au nom du « bon sens » populaire (Mercier, 1806a, p. xxxi, p. 79, n. 1, p. 255, p. 311) et de ses convictions religieuses, contre le système de Copernic, l'attraction de Newton et l'hégémonie insupportable des mathématiques[38]. S'il avait assurément un goût prononcé pour la provocation qui l'amenait à prendre systématiquement le contrepied des opinions les plus avérées, il semble bien que notre écrivain se soit trouvé partiellement emporté dans cette campagne qui ne manqua pas de ternir sa réputation, en raison de l'empressement de la presse populaire à lui attribuer, pour mieux se moquer de lui, une certaine analogie…

À peu près un mois après que Mercier ait laissé transparaître, le 18 février 1800 « dans un cours de littérature fait au Lycée républicain » (Mercier,

37. Dans son *Sphinx des glaces*, paru en 1897, le célèbre écrivain, par l'intermédiaire d'un de ses personnages, se demande avec amusement si le capitaine Guy, « lorsqu'il ne sera plus qu'à trois ou quatre cents milles du pôle, n'aura pas la tentation d'aller voir le bout de l'axe sur lequel la Terre tourne comme un poulet à la broche », avant de devoir, plus tard, « renoncer à jamais [à] sentir le bout de la broche terrestre tourner entre nos doigts ! » (Verne, 1897, p. 200 et p. 366).

38. Pour le contexte et la signification philosophico-scientifique de cette croisade, nous renvoyons utilement à Castonguay-Bélanger (2012) qui, d'une part, s'étant centré sur Newton et les mathématiques, ne traite guère de sa critique de Copernic et du système héliocentrique et qui, d'autre part, n'aborde aucunement les soubassements religieux, pourtant présents, de sa pensée.

1806a, p. xxxvi), quelques-unes de ses opinions anti-newtoniennes déjà exprimées en 1784 et en 1785 dans son *Bonnet de nuit*[39], un auteur, sous les initiales V. D. M., en fait connaître plaisamment et ironiquement le contenu dans *La décade philosophique*. Mercier aurait notamment annoncé qu'il « *détrônerait* » Newton « dans la séance prochaine » et aurait affirmé :

> « Il est bien plus digne de la majesté de l'homme que le soleil se donne la peine de tourner autour de lui pour l'éclairer, le réchauffer, etc., et rien n'est si ridicule que d'imaginer notre machine ronde tourner *comme un dindon à la broche vis-à-vis le foyer solaire* [sic] » (V. D. M., 1800, pp. 565-566).

Les autres journaux s'étant empressés de reprendre ce contenu et cette comparaison[40], Mercier nie, dans un premier temps, les propos qui lui sont attribués : « comme je parle très sérieusement », écrit-il le 27 mars dans le *Journal de Paris*, « je n'ai point annoncé "le projet de détrôner Newton" » et je n'ai point tenu cette comparaison, de telle sorte que « les journalistes qui ne m'ont point entendu, ou qui sont incapables de s'élever à ces matières, ou qui ont voulu s'égayer pesamment, sont les seuls auteurs de ces expressions impertinentes » (Mercier, 1800a). Faisons d'emblée remarquer que la formulation de l'analogie attribuée au célèbre écrivain est à ce point juste (« dignité », « peine », « éclairer », « vis-à-vis ») et tellement conforme à sa pensée, comme nous le constaterons dans un instant, qu'il est douteux qu'elle puisse être une pure invention de journalistes! Désireux, dans un second temps, de prouver qu'il « parle très sérieusement », Mercier, qui vient d'être mis sur la sellette, fait paraître en quatre livraisons, du 29 mars au 3 avril, un texte consacré à Copernic et à Newton (Mercier, 1800b) dans lequel, toutefois, il se garde bien d'évoquer ou d'utiliser l'analogie incriminée.

Après avoir brièvement rappelé, dans sa *Néologie* de 1801, l'ambivalence de cette géométrie « qui a empêtré la raison humaine de cet impertinent système de Copernic » (Mercier, 1801, vol. 1, p. 300), il publie, en 1803, des *Satires contre les astronomes*[41], dans lesquelles, cette fois, il mentionne notre analogie dans sa seconde Satire, après avoir déjà évoqué un « soleil rôtis-

39. Sur l'opinion déjà ambivalente de Mercier à l'égard de Newton dans cette œuvre, cf. Mercier, 1784, vol. 1, pp. 15-16; vol. 2, p. 134; 1785, vol. 4, p. 78 et pp. 209-214. Faisons remarquer, en particulier, le passage suivant : « Je détrône en ce jour & Descartes & Newton, & je composerois là-dessus un volume plein de *calculs* & sur-tout d'évidence, si je n'avois pas un *drame* à faire. » (Mercier, 1784, vol. 2, p. 398).

40. Cf., par exemple, *L'Ami des lois*, 1er germinal an 8 [22 mars 1800], n°1657, p. 3 ou *Le Publiciste*, 2 germinal an 8 [23 mars 1800].

41. Ces *Satires* ont fait l'objet, en 1938, d'un articulet (Van Aerschodt, 1938).

seur » dans la première (Mercier, 1803, p. 8). Dans une note, il la revendique même explicitement comme étant sienne — sans que ni son origine réelle ni ses antécédents historiques ne soient jamais révélés par lui-même ou par ses contemporains —, puisqu'il fait remarquer au lecteur distrait qu'il a mis dans ces vers « [s]on expression répandue dans tous les journaux, et qui a fait fortune » (Mercier, 1803, p. 16, note) :

> « Les constellations, je les ai dans ma poche ;
> Le globe de la terre est toujours à la broche :
> Sous les feux du soleil, ce beau dindon rôti,
> D'un si large bienfait, n'est pas seul investi. »
> (Mercier, 1803, p. 16).

Remarquons toutefois que dans les propos qui lui étaient attribués par le journaliste V. D. M., cette analogie était jugée « ridicule », car en contradiction avec la dignité et la majesté de l'homme, alors qu'ici elle est acceptée. Il semble en effet que Mercier, qui vient de se déclarer géocentriste (Mercier, 1803, p. 7) quant à la position de la Terre, accepte, en maintenant que « le globe de la terre est toujours à la broche », de lui attribuer, quant à son mouvement, une certaine rotation journalière (Mercier, 1803, p. 21, n. 1) telle que « la terre tourne sur son centre et non sur son axe » (Mercier, 1803, p. 17, n. 1).

Ne pouvant se contenter de riposter par des vers à ce que les astronomes établissent par des observations et des équations, Mercier achève, le 5 novembre 1805, le projet qu'il avait annoncé dix ans plus tôt et confirmé dans ses *Satires* (Mercier, 1803, p. 15), à savoir celui d'un livre traitant *De l'impossibilité du système astronomique de Copernic et de Newton*. Dans la conclusion de celui-ci, il recourt une nouvelle fois à « son » analogie, mais pour la contester :

> « L'auteur aura démontré ce qu'il s'est déjà plu à exposer sous une image populaire, et ce dont il a fait une maxime proverbiale pour l'instruction générale ; savoir, que la terre n'est point comme un dindon rôti ; ou plutôt comme une dinde aux truffes, tournant à la broche devant le soleil. » (Mercier, 1806a, p. 310).

Faisons remarquer que, cette fois, il substitue « devant » à « vis-à-vis » ou à « sous », ce qui marque indiscutablement que ce qui est obstinément refusé à la Terre est bel et bien un mouvement de rotation. Quelques pages plus loin, il revient, non sans fierté, à « son » analogie en précisant son rôle — payer avec de la petite monnaie les sornettes (c'est-à-dire les propos sentant l'hérésie) de Copernic et de Newton — et en justifiant sa formulation — à l'op-

posé des mathématiques « transcendantes » (par ex. Mercier, 1806a, p. xx et p. xxi, n. 1) dont les propos sont inaccessibles à la population, œuvrer pour « l'instruction générale » en exprimant la vérité à l'aide d'un « mot proverbial » :

> « La dinde aux truffes à la broche (qui est aujourd'hui dans toutes les bouches) est la petite monnoie dont au commencement de cette grande dispute, j'ai voulu payer le fagot de Copernic-Newton ; ceux qui ont cru devoir y substituer dindon, sont de pesans traducteurs qui n'ont pas senti toute la finesse et la justesse de notre expression. Il faut enfermer, autant qu'il est possible, toute vérité dans un mot proverbial. » (Mercier, 1806a, p. 312).

Quelle est la signification qu'il convient de donner au refus de cette analogie que Mercier abhorrait à un point tel qu'il semblât lui préférer celle d'une Terre ronde et plate[42] autour de laquelle le Soleil « tourne comme un cheval au manège » (Cousin d'Avallon, 1834, pp. 15-16 et pp. 109-110) ? Pourquoi un tel rejet de ce qui n'est même pas un mouvement de révolution, mais seulement un mouvement de rotation de la Terre ?

Pour répondre à ces questions, nous ferons appel, dans un premier temps, au témoignage de Jacques-Barthélémy Salgues (1760-1830) qui, entré dans les ordres avant de rejoindre la vie civile, avait rencontré Mercier après que celui-ci ait publié ses *Satires*. Selon son témoignage, publié dans son ouvrage *De Paris, des mœurs, de la littérature et de la philosophie* (1813), Mercier pensait que :

> « jamais une ville n'avait tourné autour de ses réverbères, ni un salon autour du lustre qui l'éclaire ; qu'il était par conséquent ridicule que la terre tournât autour du soleil ; qu'il avait remis chacun à sa place, et que la terre n'aurait plus dorénavant la peine de se déranger pour aller chercher son falot [c.-à-d. sa grande lanterne]. » (Salgues, 1813, p. 7).

S'il est difficile de retrouver, dans les exemples donnés, le mouvement de rotation qui est caractéristique d'une partie de notre analogie (ville / salon / Terre) et le mouvement de révolution propre à l'autre (réverbère / lustre / Soleil), le message n'en est pas moins obvie : comme le réverbère et le lustre sont au service l'un de la ville et l'autre du salon, le Soleil est au

42. Étienne Pivert de Senancour invitait ses contemporains à prendre au second degré cette affirmation comme étant destinée « à nous apprendre à être un peu moins *certains* » (lettre de Senancour à Mercier du 10 juin 1800 citée dans Cloutier, 2011, p. 191). Cf. également Castonguay-Bélanger, 2012, p. 59.

service de la Terre, de sorte que c'est à lui que revient la charge de se mouvoir. De ce point de vue, comme le fera remarquer sur le tard, mais avec justesse, Mercier, le grief que celui-ci adresse au système newtonien n'est pas sa « fausseté, mais [son] absurdité »[43], en l'occurrence l'absurdité, pour un partisan d'une compréhension désormais désuète de l'anthropofinalisme, de voir la Terre être obligée de « se déranger » en lieu et place du Soleil. En revanche, rétablir le géocentrisme, ou du moins militer en sa faveur, c'est remettre « chacun à sa place » en dispensant la Terre d'une telle corvée, c'est donc respecter l'ordre anthropofinaliste du monde.

Pour vérifier cette première interprétation à la lueur des motivations profondes de Mercier, rassemblons et synthétisons, dans un second temps, les propos épars tenus par celui-ci dans son ouvrage sur *L'impossibilité du système astronomique de Copernic et de Newton*.

Trois traits principaux nous semblent caractériser le contenu de cet ouvrage : 1°) un scepticisme épistémologique fermement opposé à ces « présomptueux dogmatiques » que sont les géomètres « transcendans » (Mercier, 1806a, p. 300, n. 1), mais non à cette discipline elle-même qui « n'est point coupable des folies des géomètres » (Mercier, 1806a, p. 309) ; 2°) des affirmations en contradiction avec celles de la cosmologie moderne — soit l'allégation que la Lune possède une atmosphère et une lumière propre ; que le Soleil, dépourvu de taches et de chaleur propre, est constitué d'un noyau solide et opaque ; que la Terre n'est animée ni par un mouvement de rotation ni par un mouvement de révolution et qu'elle n'est pas aplatie aux pôles ; que le monde, éventuellement plongé dans l'infini, est en tout cas borné et dépourvu de tout vide — ; et enfin 3°) un rejet de l'attraction de ce « mistificateur » et « romancier » de Newton (Mercier, 1806a, p. iv et p. xxxix) — Mercier s'attache, par exemple, à démontrer que les marées ne sont point causées par ladite attraction qui, en définitive, ne jouerait qu'« un fort petit rôle dans l'univers » (Mercier, 1806a, p. 34).

Or, ces traits, et bon nombre des thèses qui en dérivent, sont motivés non seulement par sa volonté de rester fidèle au bon sens ainsi qu'à « la saine physique » (Mercier, 1806a, p. 297), à savoir celle qu'il a apprise « au milieu de Paris » (Mercier, 1806a, p. 84, n. 1), mais également par ses convictions religieuses qui semblent s'apparenter à celle d'un déiste. Convaincu de l'existence d'une incompatibilité radicale entre la science et la foi — « c'est parce que je crois en Dieu », écrit-il (Mercier, 1806a, p. xxxvii), « que je ne crois

43. Mercier, 1806b, p. 315, à comparer avec Mercier, 1806a, p. 11.

pas à Newton » —, il situe cette incompatibilité moins entre la science et les Saintes Écritures — il ne les cite qu'à deux reprises (Mercier, 1806a, p. 246 et p. 305, n. 1) — qu'entre la vision du monde que, selon lui, véhicule nécessairement la science moderne et celle que, toujours selon lui, requiert tout aussi nécessairement la foi. Donnons-en quelques exemples. S'il convient de se montrer sceptique quant à la capacité de l'astronomie à nous livrer le véritable système du monde, c'est notamment pour contrer ceux qui, riches de leurs savoirs, se voient déjà comme les « secrétaires de Dieu » (Mercier, 1806a, p. 70 et p. 300, n. 1), alors que « Dieu seul possède le secret de son ouvrage » (Mercier, 1806a, p. 83 et p. 245) et que l'homme est grand non pas en raison de sa capacité à « lever le voile », mais à admirer, croire, se prosterner et adorer (Mercier, 1806a, p. 275, n. 1 et pp. 314-315). S'il est bon de rapetisser la noblesse du Soleil en le présentant comme un « corps charbonneux » qui deviendra bientôt lui-même une planète, c'est parce qu'au sein de cette « théologie naturelle digne d'être cultivée par l'homme », il convient de « monter plus haut que les astres » (Mercier, 1806a, p. xvii, p. 305, n. 1 ; p. 311). S'il faut arrêter la « course inutile et folle » de la Terre, c'est pour la remettre « en plein repos, ainsi que Dieu l'a faite » (Mercier, 1806a, p. xxxiii) et ainsi pouvoir rassurer le peuple, effrayé par tant de mouvements, en l'assurant que « l'Éternel architecte a bien assis les fondements de notre planisphère » (Mercier, 1806a, p. 283, n. 1). Si le monde doit être borné, c'est parce que Dieu seul est infini (Mercier, 1806a, p. 145). Enfin, si l'attraction doit être rejetée, c'est parce que Newton, bien qu'il fut « le plus religieux parmi les hommes savans » (Mercier, 1806a, p. 14), en fit un « Dieu occulte » (Mercier, 1806a, p. xxv et p. 267) et que ce « dieu occulte » réduit le rôle du Créateur (Mercier, 1803, p. 21, n. 1 ; 1806a, pp. 140-143 et pp. 303-304).

Admirateur de John Milton (1608-1674) (Mercier, 1803, p. 3) qui pourrait l'avoir inspiré[44], adversaire déclaré de « l'édifice impie du matérialisme » (Mercier, 1806a, p. 14), adepte d'une lecture littérale de la narration de la Genèse en ce qu'elle « s'écarte moins qu'une autre des *éternelles lois* de la physique, et de celles sur-tout qui nous sont familières et parlent à nos yeux » (Mercier, 1806a, p. 298), partisan d'une conception anthropofinaliste du monde naturel (Mercier, 1803, p. 9 ; 1806a, pp. xxxv-xxxvi et p. 283, n. 1), Mercier a cru, comme les nombreux devanciers qui ont tiré parti de l'inconvenance de notre analogie pour se mettre à la recherche d'une conve-

44. Il serait intéressant de savoir à quelle source Mercier a pu prendre connaissance de notre analogie, puisqu'il est peu probable qu'il l'ait réinventée lui-même ou qu'elle lui soit communiquée par le journaliste V. D. M. sans quoi celui-ci n'aurait pas manqué de protester

nance supérieure, que cet anthropofinalisme ne pouvait se manifester que par l'immobilité de la Terre… sans s'apercevoir que lui, contrairement à ses devanciers, écrivait en l'an de grâce 1805. Comme l'aurait parfaitement écrit le journaliste V. D. M., il a donc considéré qu'il était « bien plus digne de la majesté de l'homme que le soleil se donne la peine de tourner autour de lui pour l'éclairer [et] le réchauffer » et a par conséquent refusé d'admettre que notre Terre puisse « tourner comme un dindon à la broche vis-à-vis le foyer solaire » (V. D. M., 1800, pp. 565-566). Loin d'être seulement une plaisanterie qui empêche l'élévation du débat ou la énième provocation d'un frondeur, son refus de notre analogie est donc en cohérence avec ses convictions les plus intimes. Il n'en reste pas moins que Mercier, en raison de sa compréhension trop superficielle des questions scientifiques et théologiques qu'il aborde, n'a pas su le faire comprendre.

En définitive et selon notre perception du moins, le drame de Mercier a été d'être suffisamment instruit pour s'apercevoir de la contradiction existant entre la vision géocentrique du monde telle qu'elle a été longtemps endossée (à tort) par la pensée chrétienne comme étant la sienne propre et la nouvelle vision promue par la science moderne, mais de ne pas l'être suffisamment (ni scientifiquement ni théologiquement) pour arriver à surmonter cette apparente contradiction, de sorte qu'il n'a pas eu d'autre choix que de tourner le dos à Copernic et à Newton pour se réfugier nostalgiquement dans une vision du monde et dans une apologétique l'une et l'autre périmées. Ce faisant, loin d'ébranler le moins du monde les astronomes et les géomètres, il a surtout desservi la cause qu'il entendait pourtant défendre.

6.2. Réception et postérité

Comme on s'en doute, ces publications de Mercier lui valurent, dans un premier temps, bien des réactions cinglantes (Newton et Mercier, 1806 ; Michaud, 1812a, 1812b), qui contribuèrent souvent à diffuser encore plus largement notre analogie[45], et, dans un second temps, de pouvoir figurer dans le catalogue de ces originaux dont le cerveau a tout à la fois été exalté

lorsque Mercier s'est mis à la revendiquer comme sienne. Bien qu'il connaisse la célèbre liste d'arguments de Riccioli (Mercier, 1800b, 2e livraison, p. 4), cette piste doit être écartée, puisque notre analogie n'y figure pas en tant que telle. Il en va de même pour Milton qui ne mentionne pas notre analogie. En revanche, l'un et l'autre ont pu attirer son attention sur ce paradoxe d'une Terre qui parvient à atteindre ses fins tout en restant immobile. Pour Milton, cf. 1667/2001, pp. 483-485.

45. C'est le cas de Newton et Mercier (1806) et de Michaud (1812a).

et quelque peu dérangé par la Révolution (Monselet, 1864, p. 58). Toutefois, l'impact des propos de Mercier fut tel qu'on en trouve des traces, parmi d'autres écrivains assurément moins connus (Despeyrous, 1873, p. 390; Fouet, 1903, p. 2), auprès d'auteurs aussi réputés que Delambre, von Humboldt ou encore Flammarion.

Nous ferons remarquer que, parmi les nombreuses réactions suscitées par les publications de Mercier, bien rares sont les auteurs qui surent que l'analogie qu'il semblait revendiquer, non sans fierté, comme son bien, était en réalité bien plus ancienne : Delambre et, à travers lui, Humboldt surent qu'elle se trouvait déjà dans l'écrit du XVe siècle intitulé *An terra moveatur an quiescat* et Flammarion, sans le faire explicitement remarquer, qu'elle figurait d'abord dans le maître-ouvrage de Cyrano de Bergerac.

6.3. Mentions indépendantes

Si, au XIXe siècle, la plupart des mentions de notre analogie sont donc liées à sa « redécouverte » par Mercier et aux critiques qui résulteront de son refus de girouetter comme un dindon à la broche, il en est d'autres qui, indépendantes de cette utilisation particulièrement malheureuse à une époque où il n'était plus guère permis de douter du mouvement de la Terre, dérivent de la longue tradition que nous venons de retracer. Tel est le cas du copernicien catholique Joseph de Maistre (1753-1821) et de l'écrivain scientifique Henri Lecouturier (1819-1861), mais également celui, bien plus intéressant, de Charles Rouy (1770-1848) : tout en ne percevant plus la perspective anthropofinaliste qui avait si longtemps conduit à rejeter la validité de notre analogie, tout en ne comprenant donc plus que ce contresens puisse, lui-même, avoir un sens, ce révolutionnaire et inventeur français s'attache à investir le principe de simplicité auquel il se rallie d'une perspective religieuse dans la mesure où seule cette simplicité lui paraît être conforme à la majestueuse dignité du Créateur!

7. Conclusion

7.1. Récapitulatif

La simple observation de la répartition chronologique des occurrences de notre analogie [fig. n°1] permet de discerner, sans ambiguïté, cinq périodes différentes au sein de l'histoire de son utilisation du XIVe au XIXe siècles :

1°) d'abord ses premiers usages attestés au cours de la seconde partie du XIVe siècle ; 2°) ensuite sa disparition presque complète durant les XVe et XVIe siècles ; 3°) sa forte réapparition au XVIIe siècle ; 4°) son déclin au XVIIIe siècle ; et enfin 5°) son retour massif au XIXe siècle, mais cette fois pour des raisons largement indépendantes de l'histoire de la cosmologie. Récapitulons les acquis de notre étude pour chacune de ces périodes.

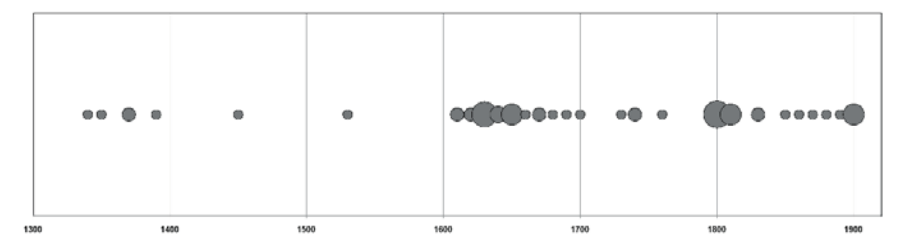


Figure n°1.
Répartition chronologique des occurrences de l'analogie.

Attestée à partir du milieu du XIVe siècle tout en étant alors présentée comme ayant été forgée par les Anciens, l'analogie de la chair rôtie à la broche devant un feu immobile permet, à une époque où la question de la rotation diurne de la Terre est examinée avec soin dans un cadre strictement géocentrique, de faire ressortir la plus grande plausibilité logique d'une telle rotation par rapport à l'alternative que constitue la révolution du ciel et celle du Soleil en particulier. Si une telle rotation terrestre est jugée plus recevable, c'est parce qu'elle permettrait tout à la fois d'attribuer un mouvement rotatoire à notre globe et d'immobiliser les astres, conformément, de manière générale, à ce principe de convenance selon lequel il appartient à l'indigent, et non au comblé, de se mouvoir pour atteindre ce qui lui manque et, de manière contextuelle, à ce fait particulier qu'est la sphéricité de la Terre dès lors que celle-ci impose un mouvement de rotation comme étant le seul type de mouvement qui permette de fournir équitablement, sur toutes les faces du globe terrestre, la chaleur, la lumière et les influx célestes dont celui-ci a besoin.

Durant ce premier demi-siècle, une mention particulière doit être accordée à Oresme dans la mesure où celui-ci a précisément fait remarquer qu'une mise en mouvement de l'indigent n'était pas suffisante : il fallait en outre veiller, au cas par cas, à ce que le mouvement qui lui est attribué soit tel qu'il lui permette de recevoir correctement le profit délivré par l'être comblé. Ainsi, si un mouvement de translation rectiligne permet aux éléments de

rejoindre véritablement leur lien naturel, c'est en revanche un mouvement de rotation qui, dans le cas de la Terre, est indiqué en raison de sa sphéricité.

Au milieu du XVe siècle, seul un commentaire anonyme du *Traité de la sphère* de Sacrobosco (CLM 24809) et une publication posthume de l'écrit intitulé *An terra moveatur an quiescat* témoignent de la survivance de notre analogie, dont l'éclipse au cours des XVe et XVIe siècles n'empêche cependant pas le principe de convenance qui la gouverne de rester, lui, bien connu (par ex. Pontus de Tyard).

Durant les 250 ans que nous venons de synthétiser depuis la première apparition attestée de notre analogie, les sept occurrences identifiées se réfèrent toutes, dans un cadre géocentrique, à la question du mouvement de rotation diurne de la Terre et mentionnent toutes, à deux exceptions près (Pierre d'Ailly et CLM 484)[46], le principe de convenance dont cette analogie constitue l'une des illustrations. En revanche, à la différence de Buridan (qui n'emploie pas notre analogie), aucune perspective finaliste ne semble directement associée à son utilisation.

Au XVIIe siècle, le contexte change radicalement aussi bien au niveau scientifique — en raison, principalement, de la généralisation d'une appréhension réaliste de l'hypothèse héliocentrique et de l'apparition d'observations astronomiques plaidant en sa faveur — qu'au niveau philosophique — à savoir l'émergence d'une conception mécaniste du monde conduisant à se défier de toute perspective finaliste. Il en résulte d'innombrables modifications et innovations par rapport à ce qui était jusqu'ici la règle dans l'utilisation de notre analogie. Tâchons cependant de dresser la liste de ces changements en commençant par les deux plus généraux pour ensuite suivre, autant que faire se peut, la chronologie de leur apparition. Après le présent récapitulatif, la suite de notre conclusion consistera, pour l'essentiel, à approfondir bon nombre de ces transformations, comme l'indique, le cas échéant, le renvoi vers la section ultérieure concernée.

1. L'enjeu de notre analogie n'est plus simplement d'envisager la possibilité logique de la rotation diurne de la Terre, mais bien de débattre de sa réalité physique.

2. Ceux qui la mentionnent ne constituent plus, comme précédemment, un ensemble foncièrement homogène, à savoir celui des géocentristes,

46. Cette particularité tient peut-être à la brièveté, d'une part, de l'allusion de Pierre d'Ailly et, d'autre part, du commentaire de CLM 484.

puisqu'il convient de distinguer deux groupes principaux entre lesquels les clivages sont particulièrement importants : celui des non-coperniciens et celui des coperniciens [cf. 7.21.]. La carte des postures adoptées ne relevant pas, à cette époque, d'une typologie facile, il serait erroné d'identifier, comme on serait naturellement tenté de le faire, les non-coperniciens avec les croyants — appellation permettant de désigner à la fois les chrétiens, mais également les juifs (tels Cardoso et Cohn) — et les coperniciens avec ceux qui le sont moins voire pas du tout : les cas de Kepler, de Ph. van Lansberge ou de Gassendi sont là pour nous prémunir d'une telle généralisation.

3. Alors que le seul et unique usage de notre analogie consistait, jusqu'ici, à débattre de la rotation diurne de la Terre, d'autres usages se manifestent dès celui qui semble incarner la première réapparition allusive de notre comparaison au XVIIe siècle, à savoir Foscarini [cf. 7.2.2].

4. Dès le même Foscarini (1615), de nombreuses variantes de notre analogie sont proposées, cependant que, trois ans plus tard (1618), sa présentation et sa formulation se modifient, et ce dès sa première réapparition tout à fait explicite chez Kepler [cf. 7.2.3].

5. Le principe de convenance qui gouverne cette analogie donne lieu, lui aussi, à d'autres exemples que celui, traditionnel, de la chair rôtie au feu [cf. 7.2.4].

6. Ceux qui récusent si pas ce principe de convenance, du moins cette analogie, mettent en œuvre différentes sortes de stratégies de contestation [cf. 7.2.5], de sorte que ces nouveaux usages [n°3], ces nouvelles variantes [n°4], ces formulations renouvelées [n°4], ces nouveaux exemples [n°5] et finalement ces contestations [n°6] manifestent la pleine vitalité, au XVIIe siècle, de notre analogie et de son principe de convenance.

7. Alors que notre analogie était traditionnellement justifiée sur base de considérations qualitatives (un indigent et un comblé), dès sa réapparition chez le même Kepler (1618) — qu'on peut cependant difficilement soupçonner d'être hostile à des propos de cette nature —, des considérations quantitatives (en l'occurrence l'importance de la masse du Soleil par rapport à celle de la Terre) prennent explicitement le dessus. Se trouve ainsi inaugurée une nouvelle manière d'interpréter notre analogie, qui s'imposera toujours davantage au fil du temps.

8. Suite à la multiplication des indices en faveur de la réalité physique du mouvement diurne de la Terre, ceux qui avaient établi une alliance imprudente entre une vision scientifique du monde, qui est nécessairement contextuelle, et un message révélé, qui se présente au contraire comme intemporel, sont dorénavant contraints de faire un choix exclusif : soit refuser la nouvelle astronomie pour pouvoir rester fidèle à l'antique alliance nouée depuis deux millénaires, soit réviser leur doctrine (ou du moins son argumentation) à la lumière de la nouvelle astronomie afin de pouvoir demeurer en phase avec les développements récents de la science. Avec Philippe van Lansberge (1629), qui fit le choix d'être copernicien tout en restant parfaitement fidèle à ses convictions de ministre calviniste, notre parcours nous offre — si on écarte le cas plus connu de Kepler — un rare exemple de ces stratégies d'adaptation mises en place au profit d'une conciliation renouvelée avec la science du jour [cf. 7.2.6].

9. Avec principalement La Mothe Le Vayer (1630), de Lionne (1652) et Cyrano de Bergerac (1657), l'origine professionnelle de ceux qui recourent à notre analogie se diversifie également : aux seuls astronomes et philosophes de la nature de jadis viennent s'ajouter des auteurs présentant un profil différent, avant que cette démocratisation croissante de notre analogie n'atteigne son apogée, au début du XIXe siècle, avec Mercier. Faisons toutefois remarquer que pour être différent de celui de leurs prédécesseurs, le profil des quatre écrivains mentionnés n'en est pas moins bien circonscrit : les trois premiers sont des libertins, le quatrième se présente au contraire comme un esprit religieux. Ce positionnement contribue à expliquer leur recours à notre analogie : en raison de sa portée non seulement cosmologique, mais également (et parfois surtout) philosophique, les premiers l'adopteront (croyant ainsi se défaire de tout anthropofinalisme) quand le second la rejettera (dans l'espoir de maintenir, au contraire, une telle perspective).

10. Durant la seconde partie du XVIIe siècle et plus précisément depuis Riccioli (1651) — précédé sur ce point, de façon isolée, par Lansberge (1629) — jusqu'à Geiger (1694), apparaît, de façon continue, l'affirmation du lien noué entre état de mouvement de la Terre et anthropofinalisme. Cette irruption d'une énonciation explicite de ce qui était implicitement connu de tous (à défaut d'être accepté) est sans doute à concevoir comme une réaction aux critiques adressées, notamment

par Giordano Bruno[47], Galilée (par ex. 1611/1968, vol. 11, p. 148 ; 1611/2004, p. 175) et Cyrano de Bergerac (par ex. 1657/2000, pp. 21-22), contre toute perspective finaliste et, en particulier, contre tout anthropofinalisme [cf. 7.2.7].

11. Alors que notre analogie visait jusqu'ici à promouvoir l'attribution d'un mouvement de rotation à la Terre, avec Cyrano de Bergerac (1657), elle est, pour la première fois (du moins de façon certaine), utilisée pour lui accorder explicitement un mouvement de révolution et, seulement implicitement, un mouvement de rotation. Partagée plus tard par d'autres auteurs, cette mauvaise compréhension de la portée proprement cosmologique de notre analogie permettra à Le Gendre (1735) de mettre celle-ci encore plus formellement au service de l'héliocentrisme.

Après l'intense activité manifestée par notre analogie au XVIIe siècle, le siècle des Lumières se fait plus calme, en se contentant de poursuivre la ligne directrice marquée précédemment. En particulier, la substitution d'une interprétation quantitative à une compréhension qualitative de notre principe de convenance se poursuit [cf. 7.2.5], comme en témoigne Le Gendre (1735), sans même épargner certains croyants comme Joannis (1747).

Enfin, à l'exception de Rouy (1812 et 1816) — qui s'en sert encore comme d'une comparaison extrêmement triviale, mais néanmoins apte à convaincre, autant qu'un long raisonnement, de la réalité du mouvement diurne de la Terre —, de Lecouturier (1858) et des premiers ouvrages de Camille Flammarion (1862, 1872 et 1881), le XIXe siècle aurait vu disparaître presque totalement notre analogie, cantonnée désormais dans les livres d'histoire de Delambre (1819) et d'Humboldt (1839), si Mercier ne l'avait remise, pour des raisons essentiellement provocatrices et religieuses, au-devant de la scène.

Approfondissons maintenant, dans l'ordre que nous venons de suivre, certains des points abordés au cours de ce récapitulatif, avant de clôturer notre étude en reprenant — à l'exception de la première qui est totalement absente de notre corpus — les quatre questions, énoncées d'entrée de jeu, que pose, selon nous, notre analogie, à savoir : 1°) la validité de l'induction opérée en appliquant au ciel ce qui prévaut, ici sur Terre, dans les cuisines ;

47. Dans *La cena de le ceneri* par exemple, Bruno déclarait que s'il pouvait comprendre que la Terre puisse tourner autour du Soleil comme autour de « l'élément vivant du feu », il ne percevait pas au nom de quelle raison privilégiée tous les astres devraient tourner autour d'elle (Bruno, 1584/1994, p. 268).

2°) la justesse de la supériorité affirmée du repos sur le mouvement ; 3°) la pertinence du principe de convenance qui en est déduit ; et enfin 4°) la légitimité d'un tel recours à un argument de convenance.

7.2. Approfondissements

7.2.1. Utilisation par les non-coperniciens et les coperniciens

Notre analogie a-t-elle été davantage sollicitée par les non-coperniciens ou, comme on pouvait logiquement le prévoir, par les coperniciens ? Après son éclipse des XVe et XVIe siècles, lequel de ces deux groupes a pris l'initiative d'y recourir ? De manière générale, P.-N. Mayaud soutenait, d'une part, que « les coperniciens sont omniprésents » dans l'emploi d'arguments de convenance ou du moins que ceux-ci « sont plus ou moins souvent avancés par les coperniciens pour justifier leur thèse » (Mayaud, 2005, vol. 4, p. 501, n. 6.), alors que, chez les non-coperniciens, « il s'agit le plus souvent de critiques de tels arguments » (Mayaud, 2005, vol. 6, p. 56 et p. 178) et, d'autre part, que ce recours aux arguments de convenance était, de la part des coperniciens, « un signe flagrant » de l'absence de toute argumentation décisive d'un point de vue scientifique (Mayaud, 2005, vol. 4, pp. 416-417, n. 19 ; vol. 6, p. 119, p. 123, pp. 178-179, p. 181), de sorte que ce recours était de nature à amener les non-coperniciens à « s'interroger sur la validité des fondements de la thèse héliocentrique » (Mayaud, 2005, vol. 6, p. 199). Si, en analysant le travail monumental de ce géophysicien, nous avons déjà émis de nettes réserves à l'égard de sa conception selon laquelle soit on dispose d'un argument scientifique soit on est contraint de recourir à des arguments de convenance (Stoffel, 2014, p. 902), que pouvons-nous ajouter, aujourd'hui, sur base de la présente étude ?

En nous limitant aux deux siècles les plus représentatifs pour cette problématique, à savoir les XVIIe et XVIIIe siècles, nous pouvons formuler les observations suivantes :

1. le nombre de non-coperniciens et de coperniciens ayant mentionné notre analogie est similaire [fig. n°2] ;
2. le premier recours explicite à notre analogie ou à une de ses variantes a été le fait, à deux reprises, d'un copernicien, en l'occurrence Kepler [fig. n°2] ;

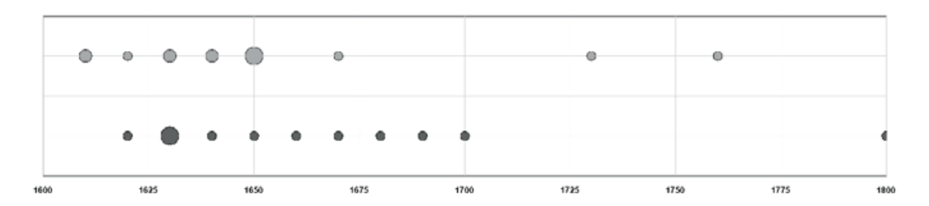


Figure n°2.
Répartition chronologique des occurrences selon que l'auteur est non-copernicien ou copernicien.
En gris clair, les coperniciens ; en gris foncé, les non-coperniciens.

3. ce recours képlérien, en dépit de sa discrétion, a eu un impact attesté auprès des géocentristes (Morin 1631 et 1634, Froidmont 1631 et 1634, Mastri & Belluti 1640, Cardoso 1673) bien plus important que celui suscité, auprès du même public, par la mention, tout aussi discrète, opérée par Galilée (Mastri & Belluti 1640, Cardoso 1673) ; en revanche, auprès des coperniciens, ces recours képlérien et galiléen n'ont été explicitement repris que par Gassendi/Bernier pour Kepler (1642, 1647, 1658, 1678) et Gassendi uniquement pour Galilée (1642) ;

4. les mentions plus tardives de notre analogie résultent, elles, de La Mothe Le Vayer (Cyrano 1657, Le Gendre 1735, Lecouturier 1858) par l'intermédiaire de Cyrano de Bergerac (Flammarion 1862, 1872, 1881 ; Rouy 1812, 1816), soit principalement du courant libertin [fig. n°3].

S'il est donc vrai que la première partie de la thèse de Mayaud ne risquait pas d'être démentie par notre étude, puisque l'analogie retenue était précisément favorable aux coperniciens et défavorable aux non-coperniciens, il convient néanmoins de faire remarquer l'extrême discrétion avec laquelle Kepler et Galilée, ainsi que leurs successeurs immédiats, ont utilisé ladite analogie. Quant à la seconde partie de sa thèse, il est déplaisant de la formuler sans plus de nuances et historiquement inexact de présenter ce recours à notre analogie comme manifestant un aveu de faiblesse en termes d'arguments scientifiques et comme résultant d'une stratégie mise en œuvre par les seuls coperniciens : face au sentiment d'une équivalence scientifique entre différentes hypothèses, des géocentristes se sont également fiés à des arguments de convenance (Oresme et Eschinardi).

7.2.2. Usages des mentions de l'analogie

Initialement utilisée pour envisager, dans le géocentrisme, la possibilité (au moins logique) d'une rotation diurne de la Terre, puis récupérée

pour appuyer, dans l'héliocentrisme, la réalité physique d'un mouvement de rotation, puis de révolution de notre globe, notre analogie a servi, accessoirement, d'autres objectifs que celui de nourrir, peu ou prou, le débat scientifique. Nous en distinguerons quatre principaux, à savoir : 1°) servir l'apologétique ; 2°) plaider en faveur d'une philosophie particulière ; 3°) divertir ; et enfin 4°) discréditer le camp adverse.

1. Chez Foscarini (1615) et, plus explicitement encore, chez Lipstorp (1653), le recours à une variante de notre analogie permet effectivement d'illustrer la thèse d'une absence de contradiction entre l'héliocentrisme et le texte biblique dès lors que, par dénomination extrinsèque et conformément à la manière commune de parler, on peut dire, tout en reconnaissant le système copernicien comme conforme à la réalité, que le Soleil tourne autour de la Terre. S'inscrivant lui aussi dans une perspective plus religieuse que scientifique, Mercier s'empare de notre analogie pour symboliser la lutte qu'il mène contre ce qui est tout autant un système cosmologique qu'une conception du monde qu'il récuse comme incompatible avec ses croyances.

2. Chez La Mothe le Vayer (1630), notre analogie sert cette fois à argumenter en faveur de son scepticisme philosophique, puisque même une opinion aussi universellement admise que ne l'est le mouvement du Soleil peut être remise en question.

3. Chez Lionne (1652) et Lomonossov (1761), elle n'a plus d'autre vocation que de divertir le correspondant ou le lecteur, par exemple en comparant l'inconvenance de vouloir faire venir à Grenoble une parisienne à celle qui voudrait faire tourner le Soleil autour de la Terre.

4. Enfin, chez Cardoso (1673), la mention de notre analogie et d'autres semblables, loin de chercher à alimenter le débat, a pour objectif de discréditer les coperniciens en faisant croire qu'ils n'ont, pour ainsi dire, que des arguments de convenance à aligner en faveur de leur système.

Il n'en reste pas moins que près de 70 % des usages de notre analogie sont prioritairement liés à la discussion du mouvement de la Terre.

7.2.3. Vitalité de l'analogie

Notre analogie témoigne de sa vitalité non seulement par la diversité de ses usages, mais également par la variété de ses formulations. En effet, si son expression canonique renvoie à un feu (*ignis*), éventuellement rôtisseur

(*asso*), et à une viande (*carnis*), le plus souvent rôtie (*assatura*), à partir de la première moitié du XVII[e] siècle, ce feu pourra devenir, par amplification, la cheminée, voire la maison entière (La Mothe Le Vayer, Cyrano de Bergerac, Le Gendre, Lecouturier), quand cette viande sera parfois assimilée à une perdrix (La Mothe Le Vayer, Lecouturier), à une alouette (Cyrano de Bergerac, Rouy) et, au XIX[e] siècle, à une dinde ou à un dindon aux truffes (Mercier), à un chapon (Delambre), ou finalement à un poulet (Flammarion et Verne).

Modifiée dans son expression, notre analogie l'a aussi été dans son contenu qui s'est trouvé quelquefois enrichi. Au rôti et au feu, symbolisant respectivement la Terre et le Soleil, Kepler a ajouté la figure du cuisinier stupide que certains, par raillerie, ont proposé d'identifier avec l'intelligence motrice du globe terrestre (Mastri & Belluti) quand d'autres, au contraire, ont fait de lui le personnage apte à solutionner la question débattue (Lomonossov). Quant à Philippe van Lansberge, il a également ajouté un troisième personnage, mais en opérant la division, en deux personnes distinctes (à savoir la mère, pour la Terre, et ses enfants, pour les hommes), de celui qui figurait notre globe.

C'est au cours de ce même XVII[e] siècle (à la seule exception de Salgues qui appartient au XIX[e] siècle) que notre analogie a donné lieu à toute une série de variantes qui témoignent, elles aussi, de sa vitalité : un homme affecté par le froid qui tente de se réchauffer en présentant les différentes faces de son corps au foyer domestique (Foscarini) ; un orateur qui, au lieu de se tourner vers son auditoire, prétendrait qu'il revient à celui-ci de se déplacer pour lui (Kepler) ; une mère qui demanderait à la source de chaleur de se mouvoir autour de sa progéniture au lieu de faire tourner ladite progéniture sur elle-même devant ladite source de chaleur (Ph. van Lansberge) ; un spectateur ou un admirateur qui voudrait, autour de lui, faire tourner le paysage (Galilée) ou les tableaux (Lionne) qu'il souhaite contempler pour ne pas devoir se fatiguer à bouger la tête ; un vaisseau qui préférerait déplacer les côtes au lieu de cingler lui-même le long de ces côtes (Cyrano de Bergerac, Bernier) ; un Roi que l'on forcerait à bouger afin de varier ce qui lui sert de décor au lieu de faire tourner le décor autour de lui (Cardoso) ; enfin un réverbère ou un lustre qui voudraient faire tourner autour d'eux la ville ou le salon qu'ils sont chargés d'éclairer (Salgues).

Cette plasticité et cette inventivité, qui témoignent de la vitalité de notre analogie, peuvent s'expliquer par différents motifs, parmi lesquels nous mentionnerons : 1°) le souhait de couper tout lien entre ladite analogie et la source d'inspiration dont elle émane, à savoir la cuisine ; 2°) le désir d'aban-

donner toute référence à l'existence de natures intrinsèques (Galilée) ; ou encore 3°) la volonté de dénoncer la facilité avec laquelle on peut établir des analogies à tout propos en étant, surtout, hors propos (Mastri & Belluti).

7.2.4. Vitalité du principe de convenance

En ce qu'elle prescrit l'attribution d'un mouvement de rotation à l'indigent en lieu et place du mouvement de révolution qui, dans le géocentrisme, est actuellement octroyé au comblé, notre analogie constitue un exemple tout à fait particulier du principe de convenance qui, lui, impose seulement l'assignation d'un état de mouvement à l'indigent et d'un état d'immobilité au comblé. Aussi la vitalité manifestée par notre analogie ne suffit pas à épuiser le dynamisme qui est celui de notre principe de convenance : celui-ci peut être illustré par d'autres analogies qui, elles, ne requièrent pas l'attribution d'un mouvement qui soit spécifiquement rotatoire.

C'est pourquoi, à l'instar d'Oresme (1377) qui éclairait son propos en faisant remarquer que chaque élément se meut vers son lieu naturel quand son lieu ne vient pas à lui, nos auteurs proposeront d'autres exemples : l'animal se meut pour atteindre sa nourriture qui, elle, n'a aucune envie de venir à lui (La Mothe Le Vayer) ; le navire aspire à rejoindre le port et non le port le navire (Gassendi) ; le malade a besoin du médecin, le faible doit se soumettre au fort, ou encore le petit doit servir le grand (Cyrano de Bergerac) ; enfin, les sujets vont à la rencontre de ce roi qui ne saurait venir à eux (Eschinardi).

Faisons remarquer que, parmi cette liste, seuls les exemples de Cyrano de Bergerac sont malheureux en ce qu'ils n'impliquent pas une mise en mouvement de l'indigent.

7.2.5. Stratégies de contestation

Notre parcours nous a permis de relever un certain nombre de stratégies de contestations mises en place par les géocentristes pour justifier leur renoncement à la conséquence cosmologique et/ou philosophique qui devrait résulter de notre analogie[48]. Sur cette base, nous pouvons établir la typologie suivante :

1. Discréditer notre analogie en montrant : a) qu'on peut lui faire dire n'importe quoi (Mastri & Belluti) ; b) qu'on peut, par d'autres exemples

48. Les contestations de notre principe de convenance seront traitées à la section 10.

similaires et tout aussi appropriés, la retourner contre ceux qui l'emploient (Mastri & Belluti, Cardoso).

2. Relativiser la portée des analogies en général en démontrant qu'on peut contester la justesse de ce qu'elles affirment avant même qu'elles n'établissent un rapport de ressemblance entre les deux choses concernées (Cardoso).

3. Ridiculiser notre analogie en rappelant son origine culinaire (Mastri & Belluti, Fabri, Cardoso, Geiger).

4. S'emparer, à son avantage, de ladite analogie en inversant la conclusion à laquelle elle est censée conduire grâce au recours non pas à un autre exemple [cf. n°1], mais bien à un autre principe de convenance (Eschinardi et Geiger).

5. S'abstenir de la réfuter en délaissant cette tâche au lecteur (Cohn).

6. La refuser, au nom de ses convictions religieuses, comme étant incompatible avec : a) l'anthropofinalisme chrétien (Fabri) ; b) la toute-puissance de Dieu (Joannis).

7.2.6. Stratégies d'adaptation

Alors que certains croyants restent, envers et contre tout, attachés au géocentrisme dans la mesure où l'oisiveté paradoxale qui est celle de la Terre dans ce système est, selon eux, l'indice manifeste que le monde a été façonné pour l'homme, Philippe van Lansberge, loin de redouter l'héliocentrisme en ce qu'il infligerait, par la mise en mouvement de notre globe, un démenti formel à cette thèse anthropofinaliste, se rallie à la nouvelle astronomie sans pour autant renier ses convictions : changeant simplement son argumentation, il soutient que c'est au contraire la mobilité de notre planète qui, à l'instar d'une mère bienveillante, témoigne de la sollicitude du monde créé pour ses enfants que sont les hommes.

Face à cette adaptabilité peu commune au sein de notre corpus, mais qui présente l'avantage d'avoir permis à son auteur d'embrasser la nouvelle astronomie, il est aisé d'objecter que Lansberge a, sans scrupule, modifié son argumentation pour pouvoir échapper au démenti que lui infligeait la science du jour. Cette objection appelle deux remarques. La première d'entre elles nous permettra d'ébaucher une illustration, sur un cas concret, du principe, que nous avons déjà formulé en nous inspirant de la philosophie des

sciences de Pierre Duhem, selon lequel un système analogique ne peut être évalué que globalement.

Premièrement, loin de chambouler honteusement son argumentation, notre ministre calviniste n'a fait, concernant la position de la Terre, que supposer que la meilleure position pour diffuser était aussi la meilleure position pour recevoir[49] et, concernant l'état de mouvement de notre globe, que tirer parti de l'équivalence entre l'attribution d'un mouvement de révolution au Soleil et d'un mouvement de rotation à la Terre pour conclure qu'on pouvait, en faisant preuve d'une même équivalence, louer aujourd'hui le mouvement de la Terre comme on avait jadis loué celui du Soleil. Nul reniement ni incohérence donc ! Toutefois, et pour nous en tenir à la position de la Terre, il apparaît, lorsqu'on resitue ce raisonnement dans toute la conception du monde qui le porte, que s'il est parfaitement cohérent avec ce système analogique — son auteur peut donc, en toute sincérité, « y croire » — il ne l'est pas avec la nouvelle conception du monde instaurée par l'astronomie copernicienne qui, elle, n'estime plus que cette position particulière soit la meilleure pour diffuser ! Bref, avant de porter un jugement tel que celui que nous venons de rapporter en guise d'objection, il faudrait — ce qui implique un travail considérable et une connaissance particulièrement intime des deux conceptions du monde concernées — évaluer la cohérence de chacune des deux affirmations énoncées (à savoir la portée anthropofinaliste de l'immobilité géocentrique de la Terre d'une part et la portée anthropofinaliste de la mobilité héliocentrique de la Terre d'autre part) avec l'ensemble de la conception du monde, chaque fois spécifique, qui les porte afin de pourvoir déterminer, sur cette base, si la substitution de la seconde affirmation à la première constitue un appauvrissement ou au contraire un enrichissement de l'argumentation recherchée.

Deuxièmement, si on peut reprocher à certains croyants d'avoir modifié, voire carrément inversé, leur argumentation afin de conserver, malgré le nouveau contexte scientifique, leurs convictions religieuses, il serait injuste de passer sous silence le fait que des partisans de la nouvelle astronomie ont fait exactement de même pour justifier leurs hypothèses scientifiques. La

49. Plus précisément, comme, d'une part, la position géocentrique du Soleil est considérée comme la meilleure position pour diffuser et comme, d'autre part, la position héliocentrique de la Terre est considérée comme identique à celle que nous venons d'évoquer, il paraît légitime de soutenir que cette position est aussi, dans l'héliocentrisme, la meilleure pour recevoir, puisque, entre ces deux situations, seule la direction des vecteurs a été inversée.

récupération, parfois intacte, parfois modifiée, d'arguments géocentristes au profit de l'héliocentrisme opérée par Cyrano de Bergerac est, de ce point de vue, exemplaire. Dans la lignée de notre remarque précédente, il faudrait donc, pour eux aussi, vérifier la cohérence de ces récupérations par rapport à l'ensemble de la nouvelle conception du monde dans laquelle ces antiques arguments sont dorénavant introduits.

7.2.7. Mouvement de la Terre et anthropofinalisme

Face au constat qu'une analogie culinaire aussi rudimentaire ait pu retenir l'attention de tant de penseurs durant tant de siècles alors qu'elle n'est plus capable, aujourd'hui, que de susciter un regard amusé, il eût été facile de rendre compte de cette situation en affirmant que, décidément, nos prédécesseurs ne savaient guère raisonner puisqu'ils se satisfaisaient de si piètres arguments. Soucieux de refuser une telle attitude condescendante qui n'est souvent que la trace de l'ignorance de celui qui l'endosse, nous avons supposé, en introduction, que l'attention portée à cette analogie résultait non seulement de sa portée proprement cosmologique, mais également de la question éminemment existentielle qu'elle permettait de poser : le monde a-t-il été conçu spécifiquement pour l'homme ou bien est-il indifférent à son existence? Au terme de notre parcours, c'est l'existence de ce lien supposé entre un enjeu explicitement cosmologique et un enjeu implicitement anthropofinaliste qu'il nous incombe de vérifier.

Si, dès Buridan, nous avons pu prendre acte du conflit surgissant entre le désir de respecter notre principe de convenance, ce qui conduirait à faire mouvoir la Terre, et le souci de conserver l'argument traditionnel en faveur d'un anthropofinalisme cosmique, ce qui amène au contraire à la garder immobile, ainsi que sa résolution par l'affirmation de la prééminence de la conception anthropofinaliste sur ledit principe de convenance, il nous a fallu attendre la seconde partie du XVIIe siècle pour retrouver, au sein de notre corpus, des témoignages explicites d'une telle proximité intellectuelle entre une mention de notre analogie, pour la refuser, et un énoncé d'une conception anthropofinaliste, pour l'accepter. En effet, à l'argument en faveur de la rotation diurne de la Terre, Riccioli (1651) rétorque, en se prévalant des Saintes Écritures, que les « couches supérieures et les étoiles […] sont mues pour le bien des hommes » (Riccioli, 1651, vol. 2, p. 467). Dans une même veine, Fabri (1665) récuse aussi bien notre principe de convenance que notre analogie au nom de cette doctrine chrétienne qui attribue un mouvement au Soleil afin qu'il soit au service de la Terre et de ses habitants. Partageant,

au sein de sa foi juive, la même conception anthropofinaliste du monde, Cardoso (1673) tire profit de cette conception pour proposer une variante de notre analogie qui, elle, recommande effectivement de faire mouvoir le décor constamment changeant du ciel autour de ce roi de la Création qu'est l'homme. Conscient que l'expérience ne permet pas encore de trancher définitivement entre la thèse de l'immobilité de la Terre et celle de sa mobilité, Eschinardi (1689) clôt momentanément le débat en faveur de la première solution en invoquant une variante de notre analogie qu'il interprète, à l'instar de Cardoso, en se basant sur la destination humaine du cosmos. De manière bien plus classique, mais néanmoins très explicite, Geiger (1694) oppose à notre analogie son incompatibilité avec un Soleil créé pour être au service de l'homme non seulement par sa lumière, mais également par son mouvement. Enfin, il n'est pas jusqu'à Mercier (1800) qui ne perçoive la contradiction entre notre analogie et ce mouvement du Soleil destiné à témoigner de la majesté de l'homme. Rappelons, pour être exhaustif, qu'une telle proximité intellectuelle entre notre analogie et la question anthropofinaliste était déjà attestée chez Philippe van Lansberge (1629), mais dans une configuration diamétralement opposée à celle que nous venons de rappeler : loin de la rivalité traditionnelle entre reconnaissance du mouvement de la Terre et confirmation d'un projet anthropofinaliste, c'était au contraire, chez lui, la nouvelle attribution d'un double mouvement à la Terre qui venait certifier l'existence d'un tel projet.

On pourrait nous objecter, d'une part, que les textes qui associent explicitement la question de l'immobilité de la Terre à celle de l'anthropofinalisme sont, tout à la fois, peu nombreux et, excepté Mercier, fort localisés dans le temps et, d'autre part, qu'aucun d'eux n'articule cette association aussi explicitement que nous ne l'avons fait dans notre introduction. Face à cette objection qui ne suffit pas à démentir notre thèse, fournissons deux éléments de réponse.

Premièrement, la conviction que le repos est plus noble que le mouvement et la certitude que le monde a pour finalité l'homme constituent des présupposés essentiels qui structurent une conception du monde. Ils sont donc implicitement partagés par tous ceux qui adhèrent à cette *Weltanschauung*, de sorte que ceux-ci ne ressentent pas le besoin ni de les verbaliser ni de les formaliser, du moins tant que leur conception du monde continue à constituer le paradigme dominant. En revanche, lorsque celle-ci, ébranlée par la rencontre ou par l'advenue d'une autre conception du monde, ne va plus de soi, ils se trouvent obligés d'énoncer et d'expliciter ce qui fonde celle

à laquelle ils continuent de se rallier. Il en est, d'ailleurs, exactement de même pour les sciences les plus avancées et les plus formalisées (Miller, 2014). Il en résulte que la restriction, numérique et temporelle, qu'on pourrait nous objecter pour relativiser ou même contester la double portée, cosmologique et philosophique, de notre analogie n'a pas la force qu'on serait tenté de lui accorder spontanément, puisque la chronologie des textes attestant un lien entre mouvement de la Terre et anthropofinalisme (1630-1700) est précisément de nature à confirmer l'explication que nous venons de donner : c'est lorsque la nouvelle vision mécaniste du monde est apparue que les partisans de l'ancienne se sont attachés à rendre plus explicite ses postulats. L'absence antérieure d'une telle explicitation n'est donc pas le signe d'une inexistence, mais au contraire d'une trop grande évidence.

Deuxièmement, notre étude portant exclusivement sur l'analogie de la chair rôtie à la broche et non pas sur ce lien supposé entre mouvement des astres et anthropofinalisme, nous nous sommes volontairement restreints — à l'exception de Buridan qui nous a servi d'entrée en matière — aux textes mentionnant cette analogie et aux propos qui étaient directement tenus en lien avec cette mention. Indépendamment de notre analogie, il serait par conséquent aisé de produire bien d'autres documents faisant état d'une telle association. Outre, par exemple, Bésian Arroy (1671, p. 155) ou Ignace Pardies (Mayaud, 1997, p. 324), le plus célèbre, à défaut d'être le mieux commenté, serait sans doute celui par lequel le moine et savant italien Benedetto Castelli (1578-1643) rapporte à son ami Galilée, avec plaisir, l'argument contre le mouvement de la Terre que lui opposa, en 1615, l'archevêque de Pise. Selon cet argument, écrit Castelli, comme « toutes choses sont créées pour l'homme, c'est clairement une conséquence nécessaire que la Terre ne peut se mouvoir comme les astres ». L'amusement cédant la place à l'ironie, notre moine commente : « Si j'avais eu assez de capacité d'entendement pour comprendre cette dépendance, peut-être aurais-je changé d'opinion » (Galilei, 1968, vol. 12, p. 154). Espérons que notre étude contribue à éclairer — à défaut, bien sûr, de le justifier ! — cet argument que le brave Castelli ne comprenait déjà plus !

7.3. Questions

7.3.1. Justesse de la supériorité du repos sur le mouvement

Des deux présupposés sur lesquels repose notre analogie — à savoir, ce qui vaut pour le monde sublunaire vaut également pour le monde céleste et

le repos est plus noble que le mouvement —, le second est assurément le plus important, puisque c'est de lui que résulte notre principe de convenance. Il mérite donc de retenir notre attention.

Si, à l'occasion de Buridan (mais qui, justement, ne se réfère pas à notre analogie), nous avons pu faire état de considérations relativisant la portée de ce présupposé — à savoir, il convient de distinguer les êtres, selon qu'ils sont matériels ou immatériels, ainsi que les mouvements, selon qu'ils visent à atteindre leur lieu naturel ou à exprimer leur essence —, notre corpus n'a fait état d'aucune réflexion qui soit relative à ce présupposé et menée en lien direct avec notre analogie. Cette absence peut paraître d'autant plus surprenante qu'au cours de la période considérée, le rapport hiérarchique entre repos et mouvement institué par ce présupposé s'est trouvé, purement et simplement, inversé : dans la lignée du nouvel état d'esprit de la Renaissance qui favorise l'*homo faber* et de sa récupération par maints partisans de l'héliocentrisme pour faciliter la réception de la nouvelle astronomie, la supériorité du mouvement, en tant qu'il est signe de vie, sur le repos, symbole de mort, s'est substituée à l'antique prééminence du repos sur le mouvement. On pourrait dès lors s'étonner que les géocentristes se soient donné la peine de recourir à différentes stratégies visant à contester notre analogie [cf. 7.2.5] et/ou notre principe de convenance [cf. 7.3.2], alors qu'ils auraient pu, avec bien plus d'efficacité, attaquer le présupposé qui gît au fondement de l'un et de l'autre : il leur suffisait de faire remarquer l'incohérence de ces coperniciens qui, d'un côté, ont clairement réfuté ce présupposé, mais qui, d'un autre côté, continuent à recourir à une analogie présupposant sa justesse. Pour rendre compte de cet état de fait et relativiser ce que, logiquement, nous pensons que nous aurions naturellement fait à leur place, contentons-nous de formuler deux remarques.

Premièrement, la substitution d'une hiérarchie à l'autre s'est faite non seulement de manière essentiellement implicite, mais également de façon particulièrement confuse, car des messages contradictoires étaient délivrés pour ainsi dire simultanément : 1°) alors que le principe de la supériorité du repos sur le mouvement souffrait, dans le monde aristotélico-médiéval, d'un certain nombre d'exceptions — comme nous avons pu nous en apercevoir avec Buridan —, il semble, avec le système copernicien, retrouver une portée universelle puisque, dorénavant, le centre et la périphérie du monde, à savoir le Soleil et les étoiles fixes, sont unis par une commune immobilité ; 2°) toutefois, alors même que ce principe paraît être revigoré par la nouvelle astronomie, il se trouve inversé par des auteurs tels que Giordano Bruno

(par ex. 1584/1996, pp. 228-230) et Galilée (Galilei, 1611/1968, vol. 11, p. 148; Clavelin, 2004, p. 176; Galilei, 1632/1968, vol. 7, pp. 83-84; Galilei, 1632/1992, pp. 90-91) qui, eux, privilégient le mouvement au détriment du repos (Hallyn, 1991, pp. 54-55; Hallyn, 1992, pp. 60-62); 3°) enfin, l'idée même d'une telle hiérarchisation, dans un sens ou dans l'autre, perd toute signification dès lors que ces mêmes auteurs en viennent à professer qu'il s'agit de notions relatives. Plongés dans ce processus concomitant de confirmation, d'inversion et finalement d'annihilation, on peut concevoir que les contemporains de ces événements, ou du moins beaucoup d'entre eux, aient manqué du recul nécessaire pour percevoir en toute lucidité ce qui était en train de se jouer devant eux.

Deuxièmement, pour que les géocentristes puissent reprocher aux coperniciens d'être inconséquents en utilisant une analogie dont ils ont eux-mêmes inversé, voire annihilé le soubassement ou, réciproquement, pour que les coperniciens puissent s'apercevoir de l'inconséquence qui est la leur, il eût fallu que les uns et les autres aient une connaissance intime non seulement de ce qui fonde leur propre conception du monde, mais également celle de l'adversaire. Force est de constater — comme nous avons pu l'observer, par exemple, avec Cyrano de Bergerac — que ce ne fut pas le cas : les uns, déjà pleinement absorbés (pour les meilleurs d'entre eux) par la compréhension purement technique de la nouvelle astronomie qui leur était opposée, ne firent pas l'effort — et comment le leur reprocher? — de pousser leur étude jusqu'à ses soubassements implicites; quant aux autres, sûrs de leur victoire et pressés de regarder vers l'avenir, ils s'empressèrent d'oublier une conception du monde qui n'était plus la leur et qu'ils ne comprenaient déjà plus.

L'absence, dans notre corpus, de toute mention ou de toute discussion relative à la hiérarchie du repos et du mouvement ne nous semble donc pas devoir être interprétée comme un indice de l'extrême superficialité d'une telle thématique, mais au contraire, du moins pour une bonne part, comme le témoignage de sa prodigieuse profondeur qui rend difficile sa pleine émergence au niveau d'une discussion objective et rationnelle.

7.3.2. Pertinence du principe de convenance sollicité

Si, comme nous venons de le rappeler [cf. 7.3.1], le présupposé de la supériorité du repos sur le mouvement est resté dans le domaine de l'implicite, le principe de convenance qui en résulte a, lui, été souvent explicitement énoncé. Dans leur volonté de justifier leur renoncement aux conséquences de ce principe, les géocentristes ne se sont d'ailleurs pas contentés de mettre

en doute notre analogie [cf. 7.2.5], mais certains d'entre eux ont été jusqu'à relativiser, voire contester, le principe de convenance qui la porte. Tel est le cas non seulement de Buridan (l'indigent peut rester passif alors que le comblé peut activement donner sa perfection), mais également d'Amico (le passif ne possède pas, en lui, de quoi activer la potentialité d'aller chercher ce qui lui manque ni celle d'établir, de son propre chef, une relation avec l'actif).

Grâce à ces nombreuses énonciations du principe de convenance sollicité, l'un des résultats principaux de notre enquête est d'avoir pu mettre au jour la profonde modification des mentalités dont témoigne la traduction progressive, en termes quantitatifs — chez Kepler, La Mothe Le Vayer, Galilée ou encore chez Le Gendre et Joannis —, de ce principe initialement énoncé en termes qualitatifs. C'était, assurément, le prix à payer pour sa survie. Mais ce faisant, il n'échappait pas aux conséquences — si bien décrites, non sans nostalgie, par Alexandre Koyré (Stoffel, 2018), et, avec davantage de recul et d'érudition, par Rémi Brague (1999) — de l'infinitisation de l'univers et surtout, du moins pour ce qui nous concerne, de la géométrisation du monde et de l'espace.

7.3.3. Légitimité d'un recours à un argument de convenance

Convenons-en : les arguments de convenance ont mauvaise presse auprès des historiens de l'astronomie et de la cosmologie qui ne leur prêtent guère d'attention. En fut-il de même de la part des auteurs que nous avons abordés ? Ont-ils décrié l'analogie de la chair rôtie à la broche parce qu'elle relève précisément de ce type d'arguments ? Peut-on définir des groupes bien définis qui seraient, les uns, enclins à être favorables aux arguments de convenance et, les autres, à les dédaigner ? Peut-on observer une évolution de l'attitude à l'égard de tels arguments qui consisterait, par exemple, à les mépriser toujours davantage au fur et à mesure que s'éloigne le moyen âge et/ou que s'impose scientifiquement l'hypothèse de la rotation de la Terre ?

Si notre enquête nous a permis de rassembler — chez Buridan, Oresme, La Mothe Le Vayer, Mastri & Belluti, Riccioli, Fabri, Cardoso ou encore Eschinardi — un certain nombre de jugements, souvent précieux, portés à l'égard de tels arguments, si elle nous a également permis, quelquefois, de relever l'ordre de classement qui était octroyé à ce type d'arguments au sein de la liste de tous les arguments produits, il semble toutefois difficile de répondre à ces questions tant les positions des uns et des autres divergent. Il serait surtout méthodologiquement insensé de vouloir le faire : ce serait ignorer que notre enquête est limitée à une seule analogie, que l'interprétation de

certains de ces jugements est sujette à discussion, que bon nombre de ces jugements sont convenus par avance selon le camp auquel on appartient et, finalement, qu'il serait imprudent d'aligner, sur le même pied, des jugements portés à des époques et dans des contextes si différents.

En attendant l'étude complémentaire d'un argument de convenance qui serait, cette fois, favorable aux géocentristes et défavorable aux coperniciens afin de pouvoir observer les réactions des uns et des autres face à un tel cas de figure, nous nous limiterons, avec prudence, à faire remarquer que bon nombre de nos auteurs ont fait preuve, à l'égard des arguments de convenance et des analogies qui en résultent, d'une position fort nuancée qui contraste souvent avec celle de nombre de leurs commentateurs : prenant les arguments de convenance pour ce qu'ils sont, les différenciant donc des arguments empiriques ou scientifiques, leur accordant une certaine valeur dans les cas où ceux-ci ne sont pas encore disponibles ou incapables de trancher la question débattue, les considérant comme une invitation à malgré tout penser ce qui ne leur serait peut-être pas venu à l'esprit d'imaginer, les coperniciens les plus célèbres n'ont pas hésité à les mentionner discrètement et leurs adversaires à les prendre en considération[50]. Par ce seul fait, ils méritent assurément notre attention.

* * *

Au terme de cet article, nous espérons avoir réussi à montrer que l'étude diachronique d'une analogie aussi rudimentaire, du moins en première approximation, que celle que nous avons fait exprès de retenir pouvait s'avérer intéressante en ce qu'elle permettait d'aborder, de manière sans doute insoupçonnée, des questions méthodologiques et philosophiques d'une certaine profondeur.

Remerciements

Qu'il me soit permis d'exprimer toute ma gratitude à Monsieur Pierre Collet pour l'aide essentielle qu'il m'a apportée dans la confection de cet article. J'adresse mes remerciements aux experts sollicités pour la grande qualité de leur rapport : je leur dois, notamment, la restructuration de mon texte. Enfin, il m'est agréable de remercier M. Vincent Ligot, Directeur du Département paramédical du Campus de Montignies, pour ses marques de confiance.

50. Même Mayaud est bien obligé, non sans regret il est vrai, d'en convenir : « nous retenons seulement ce fragment qui est significatif de l'aura des raisons de convenance au niveau desquelles se situait souvent la discussion » (Mayaud, 2005, vol. 3, p. 861).

Annexes

A1. Themon Juif

C'est vers 1349 que nous rencontrons, chez Themon Juif (né vers 1325), la première occurrence attestée de notre analogie lors d'une ultime conclusion relative au mouvement de rotation de la Terre[51] :

> « Voici la troisième conclusion corollaire. Assurément est fausse l'opinion de ces Anciens, qui ont affirmé que la Terre se meut d'un mouvement diurne et que le ciel demeure en repos. De fait, ils se représentaient la Terre comme étant comparable à un rôti [*assatura*] et le Soleil à un feu brûlant [*ignis assans*]. Et tout comme le brasero ne se meut pas autour de la pièce de viande, mais que celle-ci tourne plutôt auprès de la source de chaleur, ils ont affirmé que le Soleil ne se meut pas autour de la Terre et que, évidemment, la Terre se meut autour du Soleil, pour la bonne raison que la Terre a besoin du Soleil et non l'inverse. » (Hugonnard-Roche, 1349/ 1973, p. 109)[52].

A2. Albert de Saxe

Notre analogie réapparaît, vers 1353, dans les *Quaestiones in Aristotelis de Caelo* (liv. 2, qu. 13) d'Albert de Saxe (c. 1320-1390), dont la réputation de plagiaire ne semble guère usurpée (Patar, 2001, vol. 1) :

> « [Certains Anciens] croyaient que la Terre se comporte comme un rôti et le Soleil comme le feu rôtisseur ; ce n'est pas le feu qui tourne autour du rôti, mais le rôti qui tourne devant le feu ; de même, disaient-ils, ce n'est pas le Soleil qui tourne autour de la Terre, mais bien la Terre qui tourne devant le Soleil, et cela parce que c'est la Terre qui a besoin du Soleil, et non l'inverse. » (Albert de Saxe, 1353/2008, p. 324 ; trad. Duhem, 1958, pp. 355-356).

A3. Pierre d'Ailly

Apparue chez Themon Juif, puis chez Albert de Saxe, notre analogie est mentionnée, de manière beaucoup plus succincte, vers les années 1368-1374, dans les *Quaestiones in Sphaeram Johannis de Sacro Bosco* du prélat et théologien français Pierre d'Ailly (1351-1420) :

51. Il s'agit en effet bien d'un mouvement de rotation en dépit de l'expression « *circa solem* » présente dans le texte de Themon Juif aussi bien que dans celui d'Albert de Saxe (Hugonnard-Roche, 1349/1973, p. 109, n. 1 et Duhem, 1958, p. 356, n. 1).
52. Quand aucune traduction française n'est renseignée, c'est nous qui traduisons.

> « De là résulte la fausseté de cette opinion qui supposait le Ciel en repos et la Terre animée d'un mouvement de rotation d'Occident en Orient. On imaginait par là que le Soleil se comporte comme un feu et la Terre comme viandes mises à la broche devant ce feu. » (Hugonnard-Roche, 1973, p. 111 ; trad. Duhem, 1958, p. 358).

A4. CLM 488

Sous l'influence, parfois explicite, de Jean Buridan, d'Albert de Saxe et de Nicole Oresme, quelques commentateurs anonymes du célèbre *Traité de la sphère* de Jean de Sacrobosco (c. 1190 - c. 1250) n'ont pas manqué de signaler notre analogie. Ainsi, sur les onze commentaires écrits entre 1271 et 1450 et analysés par Mieczysław Markowski sur les treize retrouvés au sein de la Bibliothèque d'état de Bavière à Munich, il en est deux dans lesquels cet auteur signale explicitement la présence de notre analogie. Datant de la fin du XIVe siècle, le premier, à savoir CLM 488, se demande s'il ne serait pas plus sage de supposer le mouvement de la Terre et le repos du ciel. Tout en commençant par argumenter dans ce sens, il soutient qu'en dépit du mouvement qui agite constamment certaines parties de notre globe, la Terre entière, elle, repose parfaitement immobile au centre du monde et que seule la sphère des étoiles fixes est animée d'un mouvement circulaire continu. Aussi, conclut-il, l'opinion de ceux qui imaginent que la Terre est comme une viande et que le Soleil est semblable à un feu rôtisseur est fausse[53].

A5. CLM 24809

Datant du milieu du XVe siècle, le second commentaire anonyme du *Traité de la sphère* de Sacrobosco dont nous savons qu'il mentionne notre analogie, à savoir CLM 24809, présente une certaine similitude avec CLM 488. Probablement issu de l'école de Buridan et mentionnant explicitement le nom de Nicole Oresme, cet anonyme se demande également s'il ne serait pas plus sage d'accepter le mouvement de la Terre plutôt que celui du ciel. Toutefois, craignant qu'une théorie différente du géocentrisme ne parvienne pas à expliquer les éclipses et les diverses positions des planètes, il se résout à rejeter l'opinion de ces penseurs qui imaginaient que la Terre puisse tourner devant le Soleil comme un rôti devant le feu[54].

---

53. « Tercia conclusio, que correlarie sequitur ex predictis, est ista, quod ergo falsa est oppinio ipsorum antiquorum, qui dixerunt terram moveri motu diurno et celum quiescere. Unde ymaginabantur, quod terra esset sicut assatura et sol esset sicut ignis assans, modo sicut ignis non movetur circa assaturam, sed assatura movetur prope ignem, ita dixerunt solem non moveri circa terram » (ANONYMUS, *Quæstiones super « Tractatum de sphaera » Ioannis de Sacro Bosco*, clm 488, f. 4rb, cité dans Markowski, 1979, p. 212, n. 28).
54. « Tercia conclusio contra opinionem dicentem oppositum est falsa, unde ygmaginatur, quod terra esset sicut assatura et [sol] sicud ignis assans [et non] movetur, sicut ignis non movetur circa assaturam, sed magis e converso, propter quod terra indiget sole, sed non

A6. « An terra moveatur an quiescat »

Dans l'écrit intitulé *An terra moveatur an quiescat, Joannis de Monte regio disputatio* et imprimé par Johannes Schöner (1477-1547) en 1533, écrit que Michel-Pierre Lerner attribue à Georg Peurbach (1423-1461) plutôt qu'à Johannes Regiomontanus (1436-1476), l'auteur pose, pour la réfuter, la question du mouvement de rotation diurne de la Terre, avant de rappeler, avec fidélité, notre analogie :

> « Sur ce sujet, certains auteurs anciens ont eu l'opinion que le ciel serait en repos, tandis que la Terre se mouvrait circulairement sur ses pôles, en faisant en un jour une révolution de l'occident vers l'orient. C'est ainsi qu'ils imaginaient que la Terre serait comme un rôti sur une broche, et le Soleil comme le feu qui rôtit, et ils disaient : de même que le feu n'a point besoin du rôti, mais à l'inverse, de même aussi le Soleil n'aurait point besoin de la Terre, mais bien plutôt la Terre du Soleil. » (Copernic, 2015, vol. 1, p. 130).

A7. Paolo Antonio Foscarini

Soucieux, dans sa *Lettera sopra l'opinione de' Pittagorici, e del Copernico* (1615), de répondre aux objections qui, au nom de l'Écriture, semblent pouvoir être opposées à la théorie copernicienne, Foscarini les regroupe en six classes. La deuxième, qui retiendra notre attention, concerne les passages bibliques affirmant que le Soleil se meut et tourne autour de la Terre. L'objectif ici poursuivi par Foscarini consiste à démontrer qu'il s'agit là d'une manière d'appréhender les choses non pas telles qu'elles sont réellement, mais seulement telles qu'elles nous apparaissent, pour ensuite faire remarquer que cette appréhension particulière est tout à fait conforme à l'opinion vulgaire et à la manière commune de parler. Ainsi, écrit-il, on dit souvent « qu'un certain Agent est mû bien qu'il se tienne immobile, non parce qu'il est mû réellement, mais *par dénomination extrinsèque*, parce que, du fait du mouvement du sujet recevant son action et son influence, sont mues la forme et la qualité induites, en ce sujet, par l'agent » (Foscarini, 1615, pp. 34-35; 1635, p. 481; trad. Mayaud, 2005, vol. 3, p. 414). Une telle manière de procéder peut être d'application à l'égard du Soleil et de la Terre : bien que le premier soit, en réalité, immobile et que la seconde soit, effectivement, animée d'un mouvement de révolution autour de lui, on peut dire — non sans une certaine justesse, de moins selon la manière commune de parler et par « dénomination extrinsèque » — que le Soleil tourne autour de la Terre dans la mesure où « sa Lumière, qui est l'effet, la forme et la qualité apportés par lui comme Agent sur la Terre comme sujet, se répand lentement ou insensiblement par le mouvement circulaire de la Terre et s'applique sans cesse sur sa surface en un nouveau lieu » (Foscarini, 1615, p. 36; 1635, p. 482; trad. Mayaud, 2005, vol. 3, p. 414). La conclusion que le lecteur voudra bien tirer de ce développement est

e converso et sic patet questio » (Anonymus, *Quaestiones super « Tractatum de sphaera » Ioannis de Sacro Bosco*, clm 24809, f. 127ra, cité dans Markowski, 1979, p. 214, n. 46).

qu'au lieu d'opposer, à l'hypothèse copernicienne, les passages bibliques faisant état du mouvement du Soleil ou de croire qu'en ces passages la Bible s'est lourdement trompée, il convient plutôt de comprendre que la Sainte Écriture a adopté la manière commune de parler et qu'elle s'est exprimée par « dénomination extrinsèque ».

Avant d'appliquer cette manière de parler au cas du Soleil et de la Terre, Foscarini a donné l'exemple suivant, qui nous intéresse particulièrement, afin d'illustrer ce que signifiait être mu non pas réellement, mais seulement par « dénomination extrinsèque » :

> « Par exemple, soit un Agent immobile, le Feu brûlant dans un foyer en face duquel un homme affecté par le froid s'assied pour se chauffer ; après s'être chauffé d'un côté, il tourne à son tour l'autre côté vers le feu pour le chauffer aussi et, ainsi de suite, se tournant de tous côtés jusqu'à ce que le corps tout entier soit renouvelé par la chaleur. Bien que le Feu ne se meuve pas, il est cependant clair que selon le mouvement du sujet, à savoir de l'homme recevant la chaleur et l'action du Feu, la forme et la qualité de sa Chaleur sont mues côté par côté, cherchant toujours un nouveau lieu pour elles ; et ainsi, bien que le feu ne se meuve pas, on dit cependant en raison de son action qu'il a traversé tous les côtés de ce Corps et l'a chauffé, non pas par un vrai et réel mouvement du feu lui-même puisqu'il est supposé ne pas se mouvoir et en réalité ne se meut pas, mais par le mouvement qui est provoqué par le Corps pour recevoir la chaleur du Feu en chacun de ses côtés. » (Foscarini, 1615, p. 35 ; 1635, pp. 481-482 ; trad. Mayaud, 2005, vol. 3, p. 414).

Sans nous prononcer sur le surplus de clarté apporté, ou non, par cet exemple, nous ferons trois remarques. Premièrement, il est difficile, face à ce texte, de ne pas songer à notre analogie, puisqu'il y a seulement substitution d'un homme essayant de se réchauffer au morceau de viande en train de rôtir. Deuxièmement, le recours à cette image n'a pas « une portée exactement inverse » (Mayaud, 2005, vol. 4, p. 255, n. 50) à celle de notre analogie, mais simplement différente : alors que notre analogie entend dire ce qui devrait être dans les cieux (une Terre en rotation) par analogie avec ce qui est dans notre bas monde (un rôti en rotation), l'exemple de Foscarini, sans remettre aucunement en question ce qui est (l'homme qui s'échauffe opère bel et bien un mouvement de rotation), entend simplement faire comprendre que l'on puisse, à un certain niveau de langage, en parler autrement, de sorte que le propos tenu peut sembler contredire ce qui, pourtant, est indubitablement. Troisièmement, l'induction opérée par Foscarini pourrait paraître encore plus problématique que celle mise en œuvre par notre analogie, du moins si elle visait à opérer un passage non plus d'un mouvement de rotation (le rôti) à un autre (la Terre), mais bien d'un mouvement de rotation (l'homme) à un mouvement de révolution (la Terre autour du Soleil). Tel n'est cependant pas le cas, puisqu'il ne s'agit pas, dans l'esprit de

Foscarini, de prescrire un mouvement, mais bien, comme nous venons de le faire remarquer, de rendre compte des différentes manières d'en parler.

A8. Bartolomeo Amico

Professeur de philosophie et de théologie au collège de Naples, le jésuite et géocentriste italien Bartolomeo Amico (1562-1649) a rédigé, sous un titre révélateur de son approche, un commentaire d'Aristote en sept tomes, paru entre 1623 et 1648, dont le cinquième (*In Aristotelis libros De caelo et mundo*, 1626) mérite notre attention.

Se demandant si le mouvement diurne doit être attribué au ciel étoilé ou à la Terre, puisque, dans un cas comme dans l'autre, toutes les apparences du Soleil seront également sauvées, Amico commence par argumenter en faveur de la seconde opinion en reprenant, assez maladroitement, notre analogie :

> « En effet, de même que la viande qui est rôtie tourne autour du feu, ainsi la Terre mue vivement est rôtie par le Soleil en repos, car la chose qui a besoin d'une autre est mue vers elle et non pas l'inverse, mais la Terre a besoin de la chaleur du Soleil et non pas l'inverse. Ainsi Pythagore selon Sax., q. 13, a. 2 et q. 24, et selon Simplicius, De Placitis Pythag., qui pense cependant qu'ils parlent symboliquement. » (Amico, 1626, p. 288 ; trad. Mayaud, 2005, vol. 3, p. 638).

Ensevelie et puis ressuscitée par Copernic, cette antique solution d'une rotation terrestre, poursuit-il, bien qu'elle présente l'intérêt d'attribuer ce qui est noble — le repos — à ce qu'il y a de plus noble — le ciel —, ne peut être acceptée pour différentes raisons qui tiennent aussi bien à l'expérience sensible qu'aux Écritures. La question étant tranchée, il ne reste plus à notre jésuite qu'à répondre aux arguments produits par ses adversaires, dont celui de la chair rôtie au feu, ce qu'il fait par un pesant développement sur l'activité et la passivité, qui semble inspiré de Buridan, et par lequel il s'attache à contester notre principe de convenance (Amico, 1626, p. 288 ; trad. Mayaud, 2005, vol. 3, pp. 640-641). En effet, écrit-il, ne pouvant se comporter que passivement, l'élément passif est incapable de se mouvoir pour aller chercher ce qui lui manque, tout comme il est dans l'impossibilité de prendre l'initiative d'établir, lui le passif, une relation avec l'actif. Sans surprise, ce commentateur jésuite du *De caelo* s'attache donc à contester notre principe de convenance comme l'avait déjà fait, avec plus ou moins de succès, Buridan.

A9. Théophraste Renaudot

Quelques mois après la condamnation de Galilée, soit le 24 octobre 1633, la question du mouvement ou du repos de la Terre est traitée au Bureau d'adresse de Théophraste Renaudot (1586-1653), sans toutefois donner lieu à une prise de position dans un sens ou dans l'autre. À cette occasion, neuf arguments en faveur du

géostatisme et dix en faveur du géocinétisme sont énoncés par (au moins) deux orateurs. Parmi les arguments favorables au mouvement de la Terre, nous retrouvons — fort classiquement — la supériorité du repos sur le mouvement (3e argument), d'où son assignation au Soleil présenté comme « l'image visible de la divinité », et — tout aussi traditionnellement — l'attribution plus raisonnable du mouvement à l'indigent plutôt qu'au comblé (5e argument). Sans surprise, ce dernier argument est illustré par notre analogie :

> « III. Le repos & l'immobilité est une condition plus noble que le mouvement, & doit appartenir à l'image visible de la divinité, qui est le mesme Soleil, adoré pour ce sujet de plusieurs nations. […]
>
> V. Il est plus raisonnable que la Terre qui a affaire de lumiere, de chaleur & d'inflüence les aille chercher, que si le Soleil alloit chercher ce dont il n'a que faire : comme le feu ne tourne pas devant le rosti, mais le rosti devant le feu. » (Renaudot, 1638, p. 75).

Si l'argumentation est on ne peut plus classique, nous ferons remarquer que son expression est plus précise que de coutume sans l'être totalement : au lieu d'écrire « comme le feu ne tourne pas *devant* le rosti [= rotation], mais le rosti *devant* le feu [= rotation]», il eut fallu inscrire : « comme le feu ne tourne pas *autour* du rosti [= révolution], mais le rosti *devant* le feu [= rotation]».

A10. Pierre Gassendi

Qu'il s'agisse de son *De motu impresso a motore translato* (1642) (Gassendi, 1642, pp. 108-109; 1658, vol. 3, p. 506), de son *Institutio astronomica* (1647) (Gassendi, 1647, pp. 172-173; 1658, vol. 4, pp. 51-52), ou encore de sa célèbre œuvre posthume intitulée *Syntagma philosophicum* (1658) (Gassendi, 1658, vol. 1, p. 621), le savant copernicien français Pierre Gassendi (1592-1655), par ailleurs chanoine de Digne, mentionne, à quelques variantes près, notre analogie. Il le fait le plus fréquemment sous la forme du navire qui rejoint le port plutôt que le port le navire et de l'orateur qui se tourne vers son auditoire plutôt que l'auditorium vers le conférencier, mais également en recourant à l'exemple galiléen de l'homme observant le paysage du haut d'une tour[55]. Ces exemples seront évidemment repris par Bernier.

A11. François Bernier

Dans son célèbre *Abrégé de la philosophie de Gassendi* (1678), François Bernier (1620-1688), alors qu'il dresse l'inventaire des « Raisons qui ont semblé les plus convenables pour etablir le Mouvement Diurne de la Terre », ne manque pas de reprendre les deux exemples principaux de son ami Gassendi :

55. Contrairement aux deux autres, ce dernier exemple ne semble apparaître que dans le *De motu impresso a motore translato*.

> « Enfin, disent-ils, comme il est plus naturel que le Navire se meuve que les Costes qu'il parcourt ; et comme il est plus convenable que l'Orateur se tourne vers les parties differentes de son Auditoire, que de faire tourner l'Auditoire alentour de l'Orateur ; de mesme il semble qu'il est plus convenable que la Terre se tourne vers les diverses parties du Ciel que toute la Region celeste alentour de la Terre. » (Bernier, 1678, p. 228 ; 1684/1992, p. 216).

Bernier ajoute immédiatement, beaucoup plus explicitement que Gassendi et plus facilement que lui dans la mesure où il ne fait que rapporter les dires des coperniciens au lieu d'exposer ses pensées intimes, le principe de convenance qui, historiquement, est à la source de ces différentes analogies :

> « Et il est d'autant plus naturel, ajoutent-ils, que la Terre tourne successivement ses diverses parties vers le Soleil, et non pas que le Soleil tourne alentour des diverses parties de la Terre, que c'est la Terre qui a besoin du Soleil, et non pas le Soleil qui a besoin de la Terre ; puisqu'il est naturel que l'indigent cherche celuy dont il a besoin. » (Bernier, 1678, pp. 228-229 ; 1684/1992, p. 216).

A12. Hugues de Lionne

À l'occasion d'un petit débat tenu, vraisemblablement en 1652 (Lachèvre, 1924, p. 271, n. 3), dans la correspondance échangée entre Claude de Chaulne († 1675) et Hugues de Lionne (1611-1671), il est question de la ville qui serait la plus à même d'accueillir la délicieuse Madame de Revel, dont on voudrait qu'elle quitte Paris pour revenir, durant l'hiver, à Grenoble (Ridgely, 1965). Le Grenoblois Claude de Chaulne ayant reçu une lettre anonyme comparant l'intéressée à l'astre du jour et suggérant qu'elle pourrait, dans l'avenir, partager ses charmes entre Paris et Grenoble, il fait part de cette suggestion à Hugues de Lionne. Celui-ci la récuse immédiatement comme relevant d'une impossibilité « physique ». En effet, proteste-t-il en se déclarant copernicien, aucun « Soleil » — donc pas même Madame de Revel — ne voudrait quitter le centre du monde, en l'occurrence Paris :

> « Ce Soleil a bien autre affaire
> Qu'à visiter nostre hémisphère.
> D'ailleurs nous suivons ric à ric[56],
> L'opinion de Copernic
> Qui établit son domicile
> Au centre du monde immobile »
> (cité dans Lachèvre, 1924, pp. 271-272).

56. C'est-à-dire d'une manière exacte et rigoureuse.

D'ailleurs, argumente-t-il, on ne saurait raisonnablement envisager le contraire, car déplacer Paris au profit de Grenoble, ce serait aussi ridicule que de faire tourner le Soleil autour de la Terre ou le feu autour de la broche :

« Et de vrai, dites-vous un peu,
Vous qui avez bonne caboche,
Et qui jamais n'eustes taloche,
Trouveriez [vous] mieux que le feu
Roulast à l'entour de la broche
Et rencontrant quelque anicroche,
Que lors que sur son propre essieu
La broche tourne auprès du feu… »
(cité dans Lachèvre, 1924, p. 272).

Non, bien sûr : c'est à Grenoble, à la Terre et à la broche qu'il revient de se tourner vers ce qu'elles désirent, tout comme c'est à l'admirateur du peintre Martin Fréminet (1567-1619) qu'il convient de regarder dans la direction des tableaux qu'il souhaite contempler :

« Item si vous estes dans une belle chambre
Ou cabinet ou autre membre
Plein de tableaux de Fréminet,
Feriez-vous pour les voir tourner le cabinet ? »
(cité dans Ridgely, 1965, p. 568).

Cet échange épistolaire entre libertins virera à la « bouffonnerie », voire même à l'« obscénité » (Lachèvre, 1924, p. 272 et p. 273).

A13. Honoré Fabri

Dans ses *Dialogi physici* (1665), le jésuite et géocentriste français Honoré Fabri (1607-1688) partage, avec Mastri dal Meldola et Belluti, une même ironie et un même dédain pour les arguments de convenance, mais non pas la même capacité d'exposition des analogies qu'il s'apprête à critiquer. En revanche, au lieu d'en rester à une contestation de notre principe de convenance ou à un retournement de l'argument, notre jésuite pointe, comme Riccioli, ce qui, pour lui, est vraiment en jeu dans cette question : la destination anthropofinaliste du monde créé.

L'extrait qui nous intéresse prend place dans un dialogue entre Augustinus, le copernicien, et Antimus, son adversaire. Augustinus accepte de passer en revue les raisons en faveur de Copernic, bien qu'Antimus les ait déjà lues chez Galilée, mais à condition de pouvoir négliger « ces raisons qui ont de l'autorité parmi les Académiciens mais non chez les Philosophes, elles que j'ai coutume d'appeler les ombres des raisons plutôt que les vraies raisons » (Fabri, 1665, p. 3 ; trad. Mayaud, 2005, vol. 3, p. 1139). Antimus accède volontiers à cette requête qu'il renchérit en demandant « à quoi sert de soutenir une chose d'un si grand poids par des soutiens très légers ? »

(Fabri, 1665, p. 3; trad. Mayaud, 2005, vol. 3, p. 1139), avant de, malgré tout, indiquer certaines de ces « ombres des raisons » avancées par les coperniciens :

> « […] quiconque a besoin des œuvres d'un autre doit s'en approcher et il n'est pas approprié que celui-ci se meuve, mais celui-là; donc, puisque les autres corps ont besoin de l'influx bienfaisant du Soleil, celui-ci certainement se tient immobile, mais il a fallu que ceux-là tournent autour de cette source perpétuelle d'une nature généreuse. C'est beau vraiment; ils font Prince des choses créées le Soleil, lui qui cependant sert à toutes et le cède en dignité non seulement aux animaux mais même aux plantes. Il est donc juste qu'il aille autour de la terre pour laquelle il a été créé mais non que la terre et ses habitants soient forcés d'aller autour du Soleil. » (Fabri, 1665, p. 3; trad. Mayaud, 2005, vol. 3, p. 1139).

Après avoir ainsi rappelé le principe de convenance traditionnellement utilisé et l'avoir contesté au nom de la doctrine chrétienne qui, loin de faire du Soleil le « Prince » des choses créées, soutient au contraire qu'il est au service de toutes les créatures et qu'il ne possède même pas la dignité des plantes, Fabri considère que puisque le Soleil a été créé pour le bien de la Terre et de ses habitants, il est normal qu'il se meuve pour leur profit. Soucieux de rapporter les arguments en sens contraire, l'auteur des *Dialogi physici* mentionne alors notre analogie :

> « Enfin ils puisent des arguments presque dans la cuisine. Nous voyons, disent-ils, les viandes tourner en cercle autour du feu immobile, ce qui semble vraiment conforme à la raison; pourquoi donc le globe terrestre qui doit être chauffé et refait par la chaleur du Soleil, ne tourne-t-il pas autour du Soleil, et non pas le Soleil autour de la Terre? Cet argument sent la cuisine d'où il vient. » (Fabri, 1665, p. 3; trad. Mayaud, 2005, vol. 3, p. 1139).

Le copernicien Augustinus clôt alors cette première étape de la discussion consacrée aux arguments de convenance, non sans avoir relativisé l'usage qu'en font ses collègues coperniciens[57], et invite son interlocuteur à examiner les arguments proprement physiques.

A14. Friedrich Geiger

Dans ses *Theses Inaugurales Philosophicae* (1694), le théologien catholique et géocentriste allemand Friedrich Geiger (1655-1734) s'oppose à la thèse copernicienne selon laquelle il appartient à la Terre de se mouvoir en raison de sa dépendance à

57. « Laissons cela que les nôtres ont dit plutôt par plaisanterie que sérieusement, et venons-en aux choses sérieuses et de poids » (Fabri, 1665, p. 3; trad. Mayaud, 2005, vol. 3, p. 1139).

l'égard de la lumière solaire, et ce au nom de l'anthropofinalisme manifesté au sein du récit biblique de la Création :

> « Voilà qui est contradictoire. Est-ce pour l'homme, l'habitant de la Terre, que le Seigneur a créé toutes choses, avec l'intention qu'elles soient au service du monde et de l'homme ? Donc aussi le Soleil a été créé dans le but qu'en tournant autour de la Terre il soit au service de l'homme. [...] Le feu n'est pas en mouvement autour de la broche, mais c'est bien cette dernière qui tourne avec le rôti. Eh oui ! Le Soleil est un grand foyer et un brasier et la Terre est telle une broche. C'est donc la Terre qui doit tourner. Argument boiteux, parce qu'emprunté à la cuisine. Ne l'avons-nous pas déjà dit ? Le Soleil a été créé pour servir le monde et l'homme, non seulement en l'illuminant, mais aussi en se mouvant. » (Geiger, 1694, pp. 105-106).

Au sein de la pensée chrétienne, les conclusions cosmologiques qu'il conviendrait de tirer de l'inconvenance manifestée par notre analogie sont donc refusées non pas en raison de leur origine culinaire ni en vertu de la nature particulière de l'argument avancé, mais bien à cause de leur (apparente) contradiction avec la conception anthropofinaliste qui est foncièrement inhérente à ladite religion.

A15. Tobias Cohn

Isaac Cardoso n'est pas le seul représentant de la pensée juive à avoir pris en considération notre analogie : le médecin juif et géocentriste polonais Tobias Cohn (1652-1729) a fait de même dans la partie de son ouvrage encyclopédique *Ma'aseh Toviyyah* (1707), ou *L'Œuvre de Tobias*[58], consacrée à l'astronomie. Cette partie, qui constitue le travail hébraïque anticopernicien le plus célèbre de tous les temps, se démarque de bien des façons : d'abord par la virulence du propos qui assimile Copernic au « Fils de Satan » ; ensuite par la première représentation graphique, dans la littérature hébraïque, de ce modèle héliocentrique que l'auteur vient pourtant de diffamer ; enfin par sa première utilisation, toujours au sein de cette même littérature, de versets bibliques pour contrer le mouvement de la Terre.

Au chapitre 4 de cette partie proprement astronomique, Cohn énonce six arguments en faveur de Copernic qu'il ne s'attachera pas à réfuter, sous prétexte que c'est une tâche facile qu'il peut laisser à son lecteur : 1°) La forme sphérique de la Terre la prédispose au mouvement ; 2°) La vitesse de révolution des étoiles fixes autour de la Terre serait irraisonnable par rapport à celle, beaucoup plus acceptable, de notre planète si on acceptait de lui accorder un mouvement de rotation ; 3°) Si les étoiles devaient se mouvoir à une vitesse aussi gigantesque, elles ne sauraient conserver, les unes à l'égard des autres, les distances fixes que nous leur connaissons et qui assurent la permanence des constellations ; 4°) La grandeur de la sphère des étoiles

58. N'ayant pas eu accès à cet ouvrage, nous renvoyons à Brown, 2013, pp. 87-105.

fixes rend improbable son mouvement autour d'une Terre immobile ; 5°) Si le Soleil sert à éclairer l'univers, il le fera mieux en étant positionné au centre de celui-ci qu'en étant situé, comme dans le système ptoléméen, parfois d'un côté et parfois de l'autre ; et enfin, 6°) Puisque la Terre a besoin de la lumière du Soleil, il est plus sensé qu'elle décrive un mouvement de révolution autour du lui plutôt que l'inverse (Brown, 2013, p. 95). Au sein de cette liste dont tous les arguments étaient déjà présents dans celle de Cardoso (Brown, 2013, pp. 83-85), nous retrouvons donc, en dernière position, celui qui a donné lieu à notre analogie.

A16. Jędrzej Kitowicz

L'historien et prêtre polonais Jędrzej Kitowicz (1728-1804) rapporte, dans sa *Description des mœurs et des coutumes sous le règne d'Auguste III* (1840-1841), que notre analogie fut utilisée, entre les années 1743 et 1750, lors des disputes fracassantes qui opposèrent, au collège jésuite de Lwów, les membres de la Compagnie de Jésus aux Piaristes, en l'occurrence les adhérents de la Congrégation des pauvres clercs réguliers de la Mère de Dieu pour les écoles pies. Lors de ces disputes — dont Ignace Krasicki (1735-1801) fut le témoin (Cazin, 1940, pp. 42-43), lui qui devait ultérieurement découvrir, dans sa cathédrale de Frauenburg, le tombeau de Copernic (Cazin, 1940, p. 73, n. 3) —, les Piaristes avaient osé publier, dans un journal politique, quelques extraits de l'auteur du *De Revolutionibus* et s'avouer partisans de l'héliocentrisme, alors que les Jésuites de l'endroit, hostiles à tout progrès de la philosophie et des sciences, étaient bien décidés à combattre aussi bien l'astronome polonais que Descartes, Newton ou encore Leibniz. Si, au cours de ce débat, les Jésuites ne manquèrent pas de rappeler la condamnation romaine qui frappait l'héliocentrisme, les Piaristes en revanche, écrit Kitowicz, « ont obtenu que toutes les écoles acceptassent le Neoterisme ou doctrine *recentiorum*, d'après laquelle la terre tourne autour du soleil, et non le soleil autour de la terre, de même que le rôti tourne autour du feu, et non le feu autour du rôti. » (Kitowicz, 1840, p. 30 ; trad. Żelazowski, 1910, p. 71). Reconnaissons que des recherches devraient être menées pour déterminer si l'analogie a, bel et bien, été employée lors de ce débat ou si, au contraire — comme semblait le penser P. Cazin (1940, p. 43) —, sa présence dans le texte n'est que le fait de l'abbé Kitowicz lui-même qui aurait naïvement tenté, grâce à elle, d'expliquer ce qu'est l'héliocentrisme. Dans l'un comme dans l'autre cas, la présence de notre analogie témoigne de sa survivance dans l'environnement catholique polonais du milieu du XVIIIe siècle.

A17. Mikhaïl Vasilievitch Lomonossov

Ce n'est assurément pas dans un rapport scientifique d'observation astronomique tel que celui par lequel le polymathe et héliocentriste russe Mikhaïl Vasilievitch Lomonossov (1711-1765) annonce, en 1761, la découverte selon laquelle « la planète Vénus est entourée d'une atmosphère aérienne importante, semblable (sinon supérieure) à celle qui entoure notre globe terrestre » (Lomonossov, 1761,

[p. 6]) que l'on s'attendrait à trouver la mention de notre analogie ! En réalité, celle-ci apparaît dans un appendice ajouté à ce compte rendu d'observation.

Sachant que ce premier transit de la planète Vénus à avoir été observé, le 6 juin 1761, par la communauté mondiale des astronomes est, en raison de sa rareté et de sa portée, de nature à susciter des réactions non désirées, Lomonossov s'attache, dans cet appendice, à les refréner. Après avoir brièvement qualifié de méprisables et de ridicules les prophéties que certains pourraient en tirer ainsi que les incrédules qui leur prêteraient quelque attention, il s'efforce beaucoup plus longuement d'anticiper les réactions des zélotes de l'orthodoxie qui, voyant dans sa découverte les prémisses d'une preuve de la pluralité des mondes habités, pourraient y voir une nouvelle occasion de s'opposer au progrès de la science. Aussi retrace-t-il l'histoire des rapports entre discours scientifiques et discours religieux en rappelant qu'il ne saurait y avoir de contradiction entre le livre du monde et le livre de la Parole révélée, puisque l'un et l'autre proviennent du même Créateur, à condition toutefois que les lecteurs des Écritures n'en restent pas à une interprétation littérale du texte sacré. C'est dans ce contexte qu'apparaît notre analogie, sans que l'on puisse déterminer sa source d'inspiration[59], alors que Lomonossov vient d'évoquer la multiplication insensée, par les astronomes, de cercles et d'épicycles de tout genre en raison de leur incapacité à envisager le mouvement de la Terre. Il regrette alors qu'il ne se soit pas trouvé, à cette occasion, un cuisinier aussi intelligent que celui qui apparaît dans cette histoire :

> « Un jour deux astronomes étaient assis en train de festoyer
> Et de se disputer chaudement.
> La terre tourne autour du soleil, prétendait l'un.
> Le soleil entraine les planètes dans sa course, disait l'autre.
> Ce dernier était Ptolémée, l'autre Copernic.
> Le cuisinier souriant résolut leur querelle de la sorte :
> Connais-tu le mouvement des étoiles ? demanda l'hôte.
> Alors comment résoudre la question que l'art inspira ?
> Copernic avait raison, fut la réponse.
> Je vais vous le prouver bien que je ne me sois jamais penché sur le problème du soleil.
> Quel cuisinier irait se vanter de faire tourner le foyer autour du rôti ?! »
> (Lomonossov, 1761/1961, pp. 428-429).

Comme on le constate, notre analogie, profondément gravée dans la mémoire collective, n'a plus, chez le copernicien Lomonossov, que le statut d'une anecdote

59. V. P. Zubov (1963, p. 97, en particulier note 4) doute que Cyrano de Bergerac puisse être la source d'inspiration de Lomonossov, car ses livres sont absents de la bibliothèque du savant russe, et écarte bien sûr Oresme, dont le manuscrit n'a été publié qu'en 1942 et dont le texte ne semble pas avoir été connu des coperniciens des XVI[e] et XVII[e] siècles. Comme l'atteste notre étude, il n'en reste pas moins beaucoup d'autres possibilités.

aussi divertissante que plaisante qui, par un juste retour des choses, attribue le rôle principal à celui qui incarne au mieux le milieu qui l'a inspiré, à savoir le cuisinier.

A18. Jean-Baptiste Delambre

Il n'est pas jusqu'à l'historien de l'astronomie Jean-Baptiste Delambre (1749-1822) qui, dans son *Histoire de l'astronomie du moyen âge* (1819), ne fasse allusion à Mercier après avoir cité notre analogie telle qu'elle se trouve exposée dans *An terra moveatur an quiescat* :

> « On sait que notre confrère Mercier n'a jamais pu se familiariser avec l'idée de tourner comme un chapon à la broche ; Schoner paraît entièrement de l'avis de Mercier ; mais les raisons dont il appuie son opinion ne sont pas d'une grande force. » (Delambre, 1819, p. 453).

A19. Alexander von Humboldt

Vingt ans après Jean-Baptiste Delambre, en 1839 donc, c'est au tour du célèbre naturaliste, géographe et explorateur allemand Alexander von Humboldt (1769-1859) qu'il revient, exactement dans le même contexte que celui du célèbre historien de l'astronomie, de regretter que « ce genre d'argumentation [ait] été reproduit de nos jours par un académicien », en l'occurrence « l'auteur du *Tableau de Paris* » (Humboldt, 1839, p. 172, n. 1).

A20. Camille Flammarion

De 1862 à 1904, c'est Camille Flammarion qui assurera la plus grande publicité à notre analogie à l'occasion, généralement, d'une allusion aux propos insensés de Mercier. Si, en 1862, le célèbre vulgarisateur de l'astronomie mentionne, pour la première fois, notre analogie à travers le texte de Cyrano de Bergerac dans le dessein de combattre cette croyance anthropofinaliste qui conduit à réserver l'habitabilité à notre seule planète alors que son livre défend au contraire *La pluralité des mondes habités* (Flammarion, 1862, pp. 29-30), et si, dix ans plus tard, il se réfère toujours, pour expliquer cette fois le caractère bienfondé du mouvement de rotation attribué à la Terre, à l'analogie rapportée par Cyrano de Bergerac (Flammarion, 1872, p. 252), à partir de son *Astronomie populaire*, publiée en 1881, tout en continuant à faire référence, une dernière fois, à l'auteur de *L'Autre monde ou les États et empires de la Lune* (Flammarion, 1881, p. 68), il associe dorénavant la mention de notre analogie à celle de Mercier. Lui attribuant ce mot que nous n'avons pas retrouvé : « Les astronomes auront beau faire, ils ne me feront jamais croire que je tourne comme un poulet à la broche » (Flammarion, 1881, p. 65), il se sert de cet exemple soit pour témoigner qu'à son époque encore, « des personnes, en apparence instruites, doutent du mouvement de la Terre » (Flammarion, 1881, p. 65 ; 1900, pp. 3-4) et, plus tard, pour faire remarquer que Mercier fut le dernier à en douter (Flammarion, 1902a, p. 468 ; 1902b, p. 276 ; 1902c, p. 3), soit pour faire ressortir l'impensable

immobilité qui celle de la Terre dans le géocentrisme (Flammarion, 1903, p. 247; 1904, p. 117). Ces mentions de notre analogie contribueront à la faire d'autant plus connaître que les ouvrages de Flammarion seront très fréquemment réédités et que ses propos, à ce sujet, seront repris par d'autres auteurs (par ex. Camerlynck, 1908, pp. 500-501).

A21. Joseph de Maistre

Dans une lettre datée de janvier 1810 et adressée à l'amiral russe Pavel Vassilievitch Tchitchagov (1767-1849), le copernicien catholique Joseph de Maistre (1753-1821), qui tient l'illustre astronome polonais pour « l'un des plus grands ornements de l'espèce humaine »[60] et auquel on prête une réponse à Mercier que nous n'avons pas pu certifier (Fouet, 1903, p. 2), rapporte notre analogie, sans toutefois lui accorder beaucoup de crédit, telle qu'elle lui fut proférée « jadis par un horloger de [son] pays » (Maistre, 1858, p. 12; 1885, p. 396).

A22. Charles Rouy

Dans le sillage de Cyrano de Bergerac (comme en atteste la présence du terme « alouette »), le révolutionnaire, mathématicien et inventeur français Charles Rouy (1770-1848), à la vie pour le moins mouvementée (Rouy H., 1953), n'hésite pas, dans son *Uranorama familier* (1812) et dans son *Panorama céleste* (1816), à recourir, pour trancher entre les deux explications pouvant rendre compte, avec le même succès, de l'alternance du jour et de la nuit, à une comparaison « extrêmement triviale, mais qui convaincra autant qu'un long raisonnement » (Rouy Ch., 1817, p. 43), à savoir notre analogie :

> « En supposant qu'on veuille faire rôtir un petit oiseau, une alouette, par exemple, n'est-il pas plus simple et plus naturel qu'on la fasse tourner devant un feu treize à quatorze cent mille fois plus gros qu'elle, plutôt que de la laisser immobile, et faire tourner un feu aussi énorme autour d'un atome, comme serait cet oiseau à l'égard de cette masse de feu? » (Rouy Ch., 1817, p. 44).

Répondre à cette question par la négative en optant pour la mobilité du Soleil reviendrait à faire un choix « incompatible avec la grande et harmonieuse simplicité que nous admirons dans les œuvres du Créateur » (Rouy Ch., 1817, p. 43) et à nous donner une bien singulière idée de « l'auteur de cet extravagant tournebroche », dès lors que tout le monde perçoit, même les enfants, la « ridicule complication » d'un tel système (Rouy Ch., 1833, p. 45).

60. Maistre, 1893, vol. 8, p. 169. Sur Copernic dans l'œuvre de J. de Maistre, cf. surtout son *Examen de la philosophie de Bacon* (1893, vol. 6).

Alors que, initialement, notre analogie plaidait en faveur d'une mise en mouvement de la Terre au nom d'un principe de convenance et d'un principe de simplicité et que le non-respect de ces principes était justifié par une perspective anthropofinaliste pouvant se prévaloir du texte de la Genèse, alors que Cyrano de Bergerac (dont s'est très probablement inspiré Rouy), continuait à utiliser ce principe de convenance tout en refusant catégoriquement qu'il puisse être enfreint au nom d'un anthropofinalisme chrétien et ce, bien qu'il conserve lui-même, du moins dans le passage relatif à l'« alouette rôtie », un certain « finalisme biologique » (Tuzet, 1988, p. 298), Rouy, lui, se débarrasse du principe de convenance et de toute perspective finaliste, pour en rester à un principe de simplicité, lié à la grosseur des corps en présence, qu'il investit toutefois d'une perspective religieuse, puisque seule cette simplicité lui paraît être en adéquation avec la dignité du Créateur. Par un curieux retournement de situation, alors que c'était autrefois le caractère paradoxal du monde révélé par le non-respect de notre analogie qui devait aider à percevoir que ce même monde obéissait à un dessein divin, c'est aujourd'hui sa simplicité, manifestée par le respect de notre analogie, qui est perçue comme la trace qu'il est le fruit d'un acte créateur.

Si Charles Rouy ne semble donc plus percevoir la perspective anthropofinaliste qui conduisait à rejeter la validité de notre analogie, l'historien Jean-Baptiste Delambre, grâce notamment à son analyse d'une soixantaine d'arguments de Riccioli, en garde, lui, parfaitement le souvenir. Alors qu'il se demande, dans son *Histoire de l'astronomie moderne* (1821), quel impact put avoir sur la pensée copernicienne les partisans antiques de l'héliocentrisme, il écrit :

> « Quelques pythagoriciens, pour se distinguer, placèrent le Soleil au centre et lancèrent la Terre dans l'écliptique ; nous venons de voir leurs raisons. Ils prétendaient que le Soleil était le plus noble de tous les corps. On pouvait leur opposer que l'homme est l'être le plus important, que tout a été créé pour lui, qu'il convient d'assurer la stabilité de sa demeure, et que c'est aux astres à tourner autour de lui pour le chauffer et l'éclairer. Ces raisons [qu'on peut leur objecter], sans être meilleures au fond, avaient du moins un plus grand air de vraisemblance. » (Delambre, 1821, p. viii).

A23. Henri Lecouturier

Dans son *Panorama des mondes : astronomie planétaire* (1858), l'écrivain scientifique français Henri Lecouturier (1819-1861) rappelle, dans le sillage de La Mothe Le Vayer ainsi qu'en témoignent les termes utilisés, qu'attribuer aux astres un mouvement de révolution autour d'une Terre immobile au lieu de donner à celle-ci un double mouvement de rotation et de révolution, c'est commettre « un contre-sens aussi énorme que celui qui, voyant une perdrix rôtir à la broche, soutiendrait que ce n'est pas la perdrix qui tourne devant le feu, mais que c'est le feu, la cheminée et même toute la maison qui tournent autour de la perdrix » (Lecouturier, 1858, p. 113).

Bibliographie

Albert de Saxe (2008). *Alberti de Saxonia quæstiones in Aristotelis de Caelo : édition critique* / [par] B. Patar. Louvain-la-Neuve : Éditions de l'Institut supérieur de philosophie ; Louvain ; Paris ; Dudley (MA) : Éditions Peeters.

Amico, B. (1623-1648). *In universam Aristotelis philosophiam notae ac disputationes, quibus illustrium scholarum Averrois, D. Thomae, Scoti et nominalium sententiae expenduntur earumque tuendarum probabiliores modi afferuntur* (vol. 1-7). Neapoli : apud Lazarum Scorigium ; apud Secundinum Roncaliolum : apud Antonium Fuscum.

Amico, B. (1626). *In Aristotelis libros De caelo et mundo : dilucida textus explicatio et disputationes, in quibus illustrium scholarum Averrois, D. Thomae, Scoti et Nominalium sententiae expenduntur, earumque tuendarum probabiliores modi asseruntur*. Naples : apud Secundinum Roncaliolum.

Aristote (1965). *Du ciel* / texte établi et traduit par P. Moraux. Paris : Société d'édition « Les Belles Lettres ».

Aristote (1986). *La métaphysique* (vol. 1-2) / nouvelle édition entièrement refondue, avec commentaire par J. Tricot. Paris : Librairie philosophique J. Vrin.

Arroy, B. (1671), *Le Prince instruit en la philosophie en françois, contenant ses quatre parties [...] avec une métaphysique historique [...]*. Lyon : Pierre Guillimin.

Barthélemy l'Anglais (1964). *De rerum Proprietatibus (Frankfurt 1601)*. Frankfurt am Main : Minerva.

Barthélemy l'Anglais (1999). *Le livre des propriétés des choses : une encyclopédie au XIVe siècle* / introduction, mise en français moderne et notes par B. Ribémont. [s. l.] : Éditions Stock.

Basile de Césarée (1968). *Homélies sur l'hexaéméron* (2e édit. revue et augmentée) / texte grec, introduction et traduction par St. Giet. Paris : Les éditions du Cerf.

Bernès, A.-C. (1995). Le copernicanisme dans la principauté de Liège. In C. Opsomer (Ed.), *Copernic, Galilée et la Belgique : leur réception et leurs historiens / Copernicus en Galilei in de wetenschapsgeschiedenis van België. Actes de la journée d'études / Akten van de studiedag (8/2/1994)* (pp. 123-143). Bruxelles : Palais des Académies.

Bernier, Fr. (1678). *Abregé de la philosophie de Gassendi* (vol. 4). Lyon : Chez Anisson & Posuel.

Bernier, Fr. (1992). *Abrégé de la philosophie de Gassendi* (vol. 4) / texte revu par S. Murr et G. Stefani. [Paris] : Librairie Arthème Fayard.

Brague, R. (1999), *La sagesse du monde : histoire de l'expérience humaine de l'univers*. Paris : Librairie Arthème Fayard.

Brown, J. (2013). *New heavens and a new earth : the Jewish reception of Copernican thought*. Oxford ; New York : Oxford University Press.

Bruno, G. (1994), *Le souper des cendres* / texte établi par G. Aquilecchia ; notes de G. Aquilecchia ; préface d'A. Ophir ; traduction de Y. Hersant. Paris : Société d'édition « Les Belles Lettres ».

Bruno, G. (1996), *De la cause, du principe et de l'un* / texte établi par G. Aquilecchia ; notes de G. Aquilecchia ; introduction de M. Ciliberto ; traduction de Y. Hersant. Paris : Société d'édition « Les Belles Lettres ».

Bulliot, J. (1914), Jean Buridan et le mouvement de la Terre : question 22e du second livre du « De cœlo ». *Revue de philosophie*, 25(7), 5-24.

Buridan, J. (1983). *Il cielo e il mondo : commento al trattato « Del cielo » di Aristotele* / introduzione, traduzione, sommari e note di A. Ghisalberti. Milano : Rusconi libri.

Buridan, J. (1996). *Ioannis Buridani expositio et quaestiones in Aristotelis De caelo : Édition, étude critique et doctrinale* / [par] B. Patar. Louvain-la-Neuve : Éditions de l'Institut supérieur de philosophie ; Louvain, Paris : Éditions Peeters.

Camerlynck (1908). Projet de conférence populaire astronomique, cosmologique et philosophique. *Mémoires de l'Académie des sciences, des lettres et des arts d'Amiens*, 55, 467-513.

Cardoso, I. (1673). *Philosophia libera in septem libros distributa : in quibus omnia, qu[a]e ad philosophum naturalem spectant, [...] disputantur*. Venetiis : Bertanorum sumptibus.

Castonguay-Bélanger, J. (2012). Comme un dindon à la broche : la campagne de Louis-Sébastien Mercier contre Newton. In K. Astbury & C. Seth (Eds.), *Le tournant des Lumières : mélanges en l'honneur du professeur Malcolm Cook* (pp. 45-61). Paris : Classiques Garnier.

Cazin, P. (1940). *Le Prince-évêque de Varmie Ignace Krasicki (1735-1801)* / thèse pour le doctorat ès lettres présentée à la Faculté des lettres de l'Université de Paris. Paris : Société générale d'imprimerie et d'édition.

Cicéron (1969). *Academicorum reliquiae cum Lucullo* / recognovit O. Plasberg (Editio stereotype editionis prioris). Stuttgardiae ; Lipsiae : B. G. Teubner.

Clavelin, M. (2004). *Galilée copernicien : le premier combat (1610-1616)*. Paris : Éditions Albin Michel.

Cloutier, A. (2011). *Un corps et une plume pour habiter le temps : l'œuvre en miettes de Louis Sébastien Mercier* / thèse présentée à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval dans le cadre du programme de doctorat en Études littéraires pour l'obtention du grade Philosophæ Doctor. Québec : Université Laval ; Faculté des lettres ; Département des littératures.

Copernic, N. (2015). *De revolutionibus orbium cœlestium. Des révolutions des orbes célestes* (vol. 1-3) / édition critique, traduction et notes par M.-P. Lerner, A.-Ph. Segonds et J.-P. Verdet. Paris : Société d'édition « Les Belles Lettres ».

Cousin d'Avallon, Ch.-Y. (1834). *Merciériana, ou recueil d'anecdotes sur Mercier ; ses paradoxes, ses bizarreries, ses sarcasmes, ses plaisanteries, etc., etc*. Paris : P.-H. Krabbe éditeur-libraire.

Cyrano de Bergerac, S. (2000). *Œuvres complètes*. Vol. 1 : *L'Autre Monde ou les États et Empires de la Lune. Les États et Empires du Soleil. Fragment de physique* / édition critique, textes établis et commentés par M. Alcover. Paris : Honoré Champion éditeur.

Delambre, J.-B. (1819). *Histoire de l'astronomie du moyen âge*. Paris : Mme Ve Courcier imprimeur-libraire pour les sciences.

Delambre, J.-B. (1821). *Histoire de l'astronomie moderne* (vol. 1). Paris : Mme Ve Courcier, libraire pour les sciences.

Despeyrous, Th. (1873). Discours / séance publique tenue le 8 juin. *Mémoires de l'Académie des sciences, inscriptions et belles lettres de Toulouse*, 5, 387-395.

Duhem, P. (1909). Un précurseur français de Copernic : Nicole Oresme (1377). *Revue générale des sciences pures et appliquées*, 20(21), 866-873.

Duhem, P. (1958). *Le système du monde : histoire des doctrines cosmologiques de Platon à Copernic* (vol. 9). Paris : Hermann.

Eschinardi, Fr. (1689). *Cursus physicomathematicus [...]*. Pars prima : *De cosmographia*. Tomus primus : *Continens duplicem tractatum, primum de sphaera, secundum de astronomia [...]*. Romæ : Ex typographia Ioannis Iacobi Komarek Bohëmi.

Fabri, H. (1665). *Dialogi physici, in quibus de motu terrae disputatur, marin aestus nova causa proponitur, necnon aquarum et Mercurii supra libellam elevatio examinatur*. Lugduni : sumptibus Christophori Fourmy.

Flammarion, C. (1862). *La pluralité des mondes habités : étude où l'on expose les conditions d'habitabilité des terres célestes, discutées au point de vue de l'astronomie et de la physiologie*. Paris : Mallet-Bachelier, imprimeur-libraire.

Flammarion, C. (1872). *Histoire du ciel*. Paris : J. Hetzel et Cie.

Flammarion, C. (1881). *Astronomie populaire : description générale du ciel*. Paris : C. Marpon et E. Flammarion éditeurs.

Flammarion, C. (1900). *L'inconnu et les problèmes psychiques : manifestations de mourants, apparitions, télépathie, communications psychiques, suggestion mentale, vue à distance, le monde des rêves, la divination de l'avenir*. Paris : Ernest Flammarion éditeur.

Flammarion, C. (1902a). Le pendule du Panthéon. *Bulletin de la Société astronomique de France et Revue mensuelle d'astronomie, de météorologie et de physique du globe*, 16(11), 468-480.

Flammarion, C. (1902b). Le pendule du Panthéon. *La Revue : ancienne « Revue des revues »*, 42, 276-287.

Flammarion, C. (1902c). *Notice scientifique sur le pendule du Panthéon, expérience reprise en 1902 au nom de la Société astronomique de France*. Paris : Société astronomique de France.

Flammarion, C. (1903). *Astronomie des Dames : précis d'astronomie descriptive*. Paris : Ernest Flammarion éditeur.

Flammarion, C. (1904). Le mouvement de la Terre. *Bulletin de la Société astronomique de France et Revue mensuelle d'astronomie, de météorologie et de physique du globe*, 18(3), 116-119.

Foscarini, P. A. (1615). *Lettera sopra l'opinione de' Pittagorici, e del Copernico, della mobilità della terra, e stabilità del sole, e del nuovo Pittagorico sistema del mondo, al Reverendis P. M. Sebastiano Fantone generale dell'Ordina Carmelitano*. Napoli : Lazaro Scoriggio.

Foscarini, P. A. (1635). Epistola [...] circa Pythagoricorum, & Copernici opinionem de mobilitate terræ, et stabilitate solis : et de novo systemate seu constitutione mundi : in qua Sacræ Scripturæ autoritates, & theologicæ propositiones, communiter adversus hanc opinionem adductæ conciliantur / ex Italicâ in Latinam linguam perspicuè & fideliter nunc conversa. In G. Galilei, *Systema cosmicum, in quo quatuor dialogis, de duobus maximis mundi systematibus, Ptolemaico & Copernicano, utriusque rationibus philosophicis ac naturalibus indefinite propositis, disseritur* / ex Italica lingua Latine conversum a Matthia Berneggero (pp. 465-495). Strassburg : Augustae Treboc, impensis Elzeviriorum, typis Davidis Hautti.

Fouet, Ed. A. (1903). Le pendule de Foucault (1851-1902). *Revue de l'Institut catholique de Paris*, 8(1), 1-26.

Froidmont, L. (1631). *Ant-Aristarchus sive Orbis-terrae immobilis. Liber unicus. In quo decretum S. Congregationis S. R. E. Cardinal. an. 1616 adversus Pythagorico-Copernicanos editum defenditur*. Antverpiæ : ex officina Plantiniana Balthasaris Moreti.

Froidmont, L. (1634). *Vesta, sive Ant-Aristarchi vindex, adversus Jac. Lansbergium Philippi F. Medicum Middelburgensem* / In quo Decretum S. Congregationis S. R. E. Cardinalium anno MDCXVI et alterum anno MDCXXXIII adversus Copernicanos terræ motores editum, iterùm defenditur. Antverpiæ : ex officina Plantiniana Balthasaris Moreti.

Galilei, G. (1968). *Le opere di Galileo Galilei* (vol. 1-20) (nuova ristampa) / direttore : A. Favaro. Firenze : Giunti Barbèra editore.

Galilei, G. (1980). *L'essayeur* / édité, présenté et traduit par Chr. Chauviré. Paris : Société d'édition « Les Belles Lettres ».

Galilei, G. (1992). *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde* / traduit de l'italien par R. Fréreux, avec le concours de Fr. De Gandt. Paris : Éditions du Seuil.

Galilei, G. (1998). *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo, tolemaico e copernicano* (vol. 1-2) / edizione critica e commento a cura di O. Besomi e M. Helbing. Padova : Editrice Antenore.

Gallais, J.-P. (1817). *Mœurs et caractères du dix-neuvième siècle*. Tome 2 : *Mœurs et politique*. Paris : Belin-Le Prieur, libraire.

Gassendi, P. (1642). *De motu impresso a motore translato. Epistolae duae. In quibus aliquot praecipuae tum de Motu vuiuersè, tum speciatim de Motu Terrae attributo difficultates explicantur*. Parisiis : apud Ludovicum de Heuqueville.

Gassendi, P. (1647). *Institutio astronomica iuxta hypotheseis tam veterum, quam Copernici, et Tychonis. Eiusdem « Oratio Inauguralis iteratò edita »*. Parisiis : Apud Ludovicum de Heuqueville.

Gassendi, P. (1658). *Opera omnia in sex tomos divisa [...]* (vol. 1-6) / [...] hactenus edita auctor ante obitum recensuit [...] posthuma verò totius naturæ explicationem complectentia, in lucem nunc primùm prodeunt, ex bibliotheca [...] Henrici Ludovici Haberti Mon-Morii [...]. Lugduni : Sumptibus Laurentii Anisson et Ioannis-Baptistæ Devenet.

Geiger, Fr. (1694). *Theses Inaugurales Philosophicæ : Sapientia Mundi Omnibus Regnis, ac Sedibus Praeposita Regina Immortalis, Munifica, Potens, Felix, Deliciosissima, De inexhausto Regnorum suorum Thesauro Proferens Nova & Vetera, In publicum Disputationis Solem provecta*. Herbipoli : Martinum Richter.

Grant, Ed. (1996). *Planets, stars, and orbs : The medieval cosmos (1200-1687)*. [Cambridge] : Cambridge University Press.

Hallyn, F. (1991), Galilée et le sublime. *Littérature*, 82, 43-56.

Hallyn, F. (1992), Introduction. In Galilei, G., *Le messager des étoiles* / traduit du latin, présenté et annoté par F. Hallyn (pp. 9-101). Paris : Éditions du Seuil.

Howell, K. J. (2002). *God's two books : Copernican cosmology and Biblical interpretation in Early modern science*. Notre Dame (Indiana) : University of Notre Dame Press.

Hugonnard-Roche, H. (1973). *L'œuvre astronomique de Themon Juif, maître parisien du XIVe siècle*. Genève : Librairie Droz ; Paris : Librairie Minard.

Humboldt, A. von (1839). *Examen critique de l'histoire de la géographie du Nouveau continent et des progrès de l'astronomie nautique aux XVe et XVIe siècles* (vol. 5). Paris : Librairie de Gide.

Isidore de Séville (1960). *Traité de la nature, suivi de L'épitre en vers du roi Sisebut à Isidore* / édité par J. Fontaine. Bordeaux : Féret et fils éditeurs.

Joannis, de (1747). *Réflexions sur l'origine de l'astronomie*. Lyon : De l'Imprimerie d'Aimé Delaroche.

Kepler, J. (1953). *Epitome astronomiae Copernicanae* / Herausgegeben von M. Caspar. München : C. H. Beck'sche Verlagsbuchhandlung.

Kepler, J. (1984). *Le secret du monde* / introduction, traduction et notes de A. Segonds à partir d'un essai initial de L.-P. Cousin ; avant-propos de P. Costabel. Paris : Société d'édition « Les Belles Lettres ».

Kitowicz, J. (1840). *Opis obyczajów i zwyczajów za panowania Augusta III* [= Description des mœurs et des coutumes sous le règne d'Auguste III]. Vol. 1 / księdza Kitowicza wydany z rękopismu przez Ed. Raczyńskiego. Poznań : W drukarni Walentego Stefańskiego.

La Mothe Le Vayer, Fr. de (1630). *Quatre dialogues faits à l'imitation des anciens. I. De la Philosophie sceptique. II. Le Banquet sceptique. III. De la vie privée. IV. Des rares & eminentes qualitez des Asnes de ce temps* / publié sous le pseudonyme d'Orasius Tubero. Francfort : Jean Sarius.

La Mothe Le Vayer, Fr. de (1632-1633). *Cinq autres dialogues du mesme autheur. Faits comme les precedents à l'imitation des anciens. I. De l'ignorance louable. II. De la Divinité. III. De l'opiniastreté. III. De la Politique. V. Du mariage*. Francfort : Jean Sarius.

La Mothe Le Vayer, Fr. de (2015). *Dialogues faits à l'imitation des Anciens* / édition critique par Br. Roche. Paris : Honoré Champion éditeur.

Lachèvre, Fr. (1924). *Les derniers libertins : François Payot de Lignières. Madame Deshoulières, l'élève de Dehénault : ses poésies libertines, philosophiques et chrétiennes. Chaulieu : ses poésies libertines et philosophiques. La Fare : ses poésies libertines, en partie inédites. [...] Appendice : Les Lettres libertines en vers (1644-1659) de Claude de Chaulne, président du Bureau des finances de Dauphiné, publiées d'après le manuscrit de la Bibliothèque de Grenoble [...]*. Paris : Édouard Champion.

Lansberge, J. van (1633). *Apologia, pro Commentationibus Philippi Lansbergii in motum terrae diurnum et annuum : adversus Libertum Fromondum, theologum lovaniensem, et Joan. Baptistam Morinum, doct. med. & Parisiis mathematum professorem regium*. Middelburgi Zelandiæ : apud Zachariam Romanum.

Lansberge, Ph. van (1630). *Commentationes in motvm Terrae diurnum, & annuum ; et in vervm adspectabilis Caeli Typvm : in quibus* επιςημονικως *ostenditur, diurnum, annuumque motum qui apparet in sole, & cælo, non deberi soli, aut caelo, sed soli terrae ; simulque adspectabilis primi cœli typus, ad vivum exprimitur* / ex belgico sermone in latinum versæ, à Martino Hortensio delfensi [...]. Middelburgi : Zachariam Romanum.

Le Gendre, G.-Ch. (1735). *Traité de l'opinion, ou mémoires pour servir à l'histoire de l'esprit humain* (vol. 3, 2e édit. revûë, corrigée & augmentée). Paris : Chez Briasson.

Le Gendre, G.-Ch. (1741). *Traité historique et critique de l'opinion*. Vol. 1 : *Belles lettres et histoire de la philosophie* (3e édit. revûë, corrigée & augmentée). Paris : Chez Briasson.

Le Gendre, G.-Ch. (1758). *Traité historique et critique de l'opinion*. Vol. 8 : *Géométrie, astronomie et médecine* (4e édit. revue, corrigée & augmentée). Paris : Chez Briasson.

Lecouturier, H. (1858). *Panorama des mondes : astronomie planétaire*. Paris : Aux Bureaux du Musée des sciences.

Lerner, M.-P. (1980). « Sicut nodus in tabula » : de la rotation propre du Soleil au XVIe siècle. In J.-Cl. Margolin (Ed.), *Acta conventus neo-latini turonensis : troisième congrès international d'études néo-latines, Tours (Université François-Rabelais, 6-10 septembre 1976)* (vol. 2) (pp. 785-806). Paris : Librairie philosophique J. Vrin.

Lipstorp, D. (1653). *Specimina philosophiae cartesianae, quibus accedit ejusdem authoris Copernicus redivivus* (2 parties en 1 vol.). Lugduni Batavorum : Apud Johannem & Danielem Elsevier.

Lomonossov, M. V. (1761). *Erscheinung der Venus vor der Sonne beobachtet bey der Kayserlichen Academie der Wissenschafften in St. Petersburg, den 26. May 1761* / Aus dem Rußischen übersetzt. [s. l.] : [s. e.].

Lomonossov, M. V. (1961). Aus «Erscheinung der Venus vor der Sonne, Beobachtet bei der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in St. Petersburg, den 26 Mai 1761». In M. V. Lomonossov, *Ausgewählte Schriften in zwei Bänden*. Band 1 : *Naturwissenschaften* / [Übersetzung von H. Hösel und E. John] (pp. 426-434). Berlin : Akademie-Verlag.

Maistre, J. de (1858). *Lettres inédites du comte Joseph de Maistre*. Saint-Pétersbourg : A. Gluzel, libraire-éditeur.

Maistre, J. de (1885). *Œuvres complètes*. Tome 11 : *Correspondance III (1808-1810)* / nouvelle édition contenant ses œuvres posthumes et toute sa correspondance inédite. Lyon : Vitte et Perrussel, éditeurs-imprimeurs, Librairie générale catholique et classique.

Maistre, J. de (1893). *Œuvres complètes* (vol. 6-8) / édition ne varietur contenant ses œuvres posthumes et toute sa correspondance inédite (2e tirage). Lyon : Librairie générale catholique et classique.

Markowski, M. (1979). Sprawa ruchu Ziemi w świetle komentarzy do « Traktatu o sferze » Jana z Holywood zachowanych w średniowiecznych rękopisach Bawarskiej biblioteki państwowej [= Le problème du mouvement de la Terre à la lumière des commentaires au « Traité de la sphère » de Jean de Sacrobosco conservés dans les manuscrits médiévaux de la Bibliothèque d'état de Bavière]. *Roczniki filozoficzne*, 27(1), 209-216.

Mastri da Meldola, B. & Belluti, B. (1640). *Disputationes in libros De coelo, & Metheoris, quibus ab aduersantibus tùm veterum, tùm recentiorum iaculis Scoti Philosophia vindicatur*. Venetiis : Typis Marci Ginammi.

Mayaud, P.-N. (1997), *La condamnation des livres coperniciens et sa révocation à la lumière de documents inédits des Congrégations de l'Index et de l'Inquisition*. Roma : Editrice Pontificia Università Gregoriana.

Mayaud, P.-N. (2005). *Le conflit entre l'astronomie nouvelle et l'Écriture sainte aux XVIe et XVIIe siècles : un moment de l'histoire des idées autour de l'affaire Galilée* (vol. 1-6). Paris : Honoré Champion éditeur.

McColley, G. (1937). The theory of the diurnal rotation of the earth. *Isis*, 26(2), 392-402.

Mercier, L.-S. (1784). *Mon bonnet de nuit* (vol. 1-2). Neufchâtel : Imprimerie de la Société typographique.

Mercier, L.-S. (1785). *Mon bonnet de nuit* (vol. 3-4). Lausanne : Jean-Pierre Heubach et Compagnie.

Mercier, L.-S. (1800a). Aux auteurs du journal. *Journal de Paris*, 6 germinal an 8 [27 mars].

Mercier, L.-S. (1800b). Sur Copernic-Newton. *Le Bien informé*, 8 germinal an 8 [29 mars 1800], 2-3 ; 11 germinal an 8 [1er avril 1800], 3-4 ; 12 germinal an 8 [2 avril 1800], 4 ; 13 germinal an 8 [3 avril], 3-4.

Mercier, L.-S. (1801). *Néologie, ou Vocabulaire de mots nouveaux, à renouveler, ou pris dans des acceptions nouvelles* (vol. 1-2). Paris : Chez Moussard et chez Maradan.

Mercier, L.-S. (1803). *Satires contre les astronomes*. Paris : Terrelonge libraire.

Mercier, L.-S. (1806a). *De l'impossibilité du systême astronomique de Copernic et de Newton*. Paris : Dentu, imprimeur-libraire.

Mercier, L.-S. (1806b). Mercier aux Journalistes. *L'Abeille du Nord*, 15(67), 315-316.

Michaud, D. (1812a). Lettre à MM. les rédacteurs de la Gazette de France, sur un ouvrage intitulé : « De l'impossibilité du systême astronomique de Copernic et de Newton », par M. Mercier. *Le spectateur français au XIXe siècle, ou variétés morales et littéraires, recueillies des meilleurs écrits périodiques*, 12, 230-234.

Michaud, D. (1812b). Seconde lettre sur l'ouvrage de M. Mercier, intitulé : « De l'impossibilité du système de Copernic et de Newton ». *Le spectateur français au XIXe siècle, ou variétés morales et littéraires, recueillies des meilleurs écrits périodiques*, 12, 234-238.

Miller, D. M. (2014), *Representing space in the scientific revolution*. Cambridge : Cambridge University Press, 2014.

Milton, J. (2001). *Le Paradis perdu* / présentation, traduction et notes de A. Himy. [Paris] : Imprimerie nationale éditions.

Monselet, Ch. (1864). *Les originaux du siècle dernier : les oubliés et les dédaignés*. Paris : Michel Lévy frères, libraires-éditeurs.

Morin, J.-B. (1631). *Famosi et antiqui problematis de telluris motu, vel quiete, hactenus optata solutio*. Parisiis : Apud authorem, iuxta Pontem nouum, in platea Delphina, domi cui nomen l'Escu de France.

Morin, J.-B. (1634). *Responsio pro Telluris quiete* / Ad Jacobi Lansbergii doctoris medici Apologiam pro Telluris motu. Ad eminentissimum cardinalem Richelium, ducem, et Franciæ parem. Parisiis : sumptibus authoris, apud quem venales sunt ; tum apud Joannem Libert, viâ D. Joannis Lateranensis, è regione Auditorii regii.

Mothu, A. (1999). Cyranotes. *La lettre clandestine*, (8), 179-216.

Newton et M. Mercier (1806). *L'esprit des journaux français et étrangers*, 8, 154-161. Repris dans : *L'Abeille du Nord*, 15(57), 111-115.

Norman, B. (1984). Autour d'une alouette : commentaire. In B. Beugnot (Ed.), *Voyages : récits et imaginaire : actes de Montréal* (pp. 133-135). Paris ; Seattle ; Tübingen : Papers on French Seventeenth Century Literature.

Oresme, N. (1941), Le livre du ciel du monde : text and commentary (Book 1) / [edited by] Albert D. Menut and Alexander J. Denomy. *Mediaeval Studies*, 3, 185-280.

Oresme, N. (1942), Le livre du ciel du monde : text and commentary (Book 2) / [edited by] Albert D. Menut and Alexander J. Denomy. *Mediaeval Studies*, 4, 159-297.

Oresme, N (1943), Le livre du ciel du monde : text and commentary (Books 3 and 4) / [edited by] Albert D. Menut and Alexander J. Denomy. *Mediaeval Studies*, 5, 167-333.

Oresme, N. (1968). *Le Livre du ciel et du monde* / edited by A. D. Menut and A. J. Denomy; translated with an introduction by A. D. Menut. Madison; Milwaukee; London : The University of Wisconsin Press.

Palingène, P. A. M. (1996). *Le zodiaque de la vie (Zodiacus vitae) : XII livres* / texte latin établi, traduit et annoté par J. Chomarat. Genève : Librairie Droz.

Pantin, I. (1995). *La poésie du ciel en France dans la seconde moitié du seizième siècle*. Genève : Librairie Droz.

Patar, B. (2001). *La « Physique » de Bruges de Buridan et « Le Traité du ciel » d'Albert de Saxe : étude critique, textuelle et doctrinale*. Vol. 1 : *Introduction*. Longueuil : Les Presses philosophiques.

Platon (1985). *Timée – Critias* / texte établi et traduit par A. Rivaud (6e tirage). Paris : Société d'édition « Les Belles Lettres ».

Renaudot, Th. (1638). Du mouvement ou repos de la Terre / 10e conférence du lundi 24 octobre 1633. In *Première centurie des questions traitees ez Conferences du Bureau d'Adresse, depuis le 22e iour d'Aoust 1633 jusques au dernier Iuillet 1634* (pp. 73-76). A Paris : Au Bureau d'Adresse.

Rheticus, G. J. (1982). *Narratio prima* / édition critique, traduction française et commentaire par H. Hugonnard-Roche et J.-P. Verdet avec la collaboration de M.-P. Lerner et A. Segonds. Wrocław; Warszawa; Kraków : Ossolineum.

Riccioli, G. B. (1651). *Almagestum novum astronomiam veterem novamque complectens observationibus aliorum, et propriis novisque theorematibus, problematibus, ac tabulis promotam, in tres tomos distributam quorum argumentum sequens pagina explicabit* (vol. 1-2). Bononiæ : ex typographia Hæredis Victorii Benatii.

Ridgely, B. S. (1956). Dalibray, Le Pailleur, and the « new astronomy » in French seventeenth-century poetry. *Journal of the History of Ideas*, 17(1), 3-27.

Ridgely, B. S. (1965). A seventeenth-century French poetic debate on the Copernican theory : Claude de Chaulne versus Hugues de Lionne. *Modern Language Notes*, 80(5), 563-574.

Rouy, Ch. (1817). *Panorama céleste, ou Description et usage du mécanisme uranographique* / dédié et présenté à S. M. Louis XVIII, et destiné aux établissemens d'éducation des deux sexes, aux pères de famille, etc. (2e édition revue, corrigée et augmentée). Paris : Chez l'auteur.

Rouy, Ch. (1833). *Uranorama familier, offrant aux yeux et à l'esprit tout ce que l'astronomie physique et géographique renferme de plus curieux et de plus instructif sur la nature, le mouvement et les phénomènes des corps célestes, etc.* / dédié et présenté à S. M. Louis XVIII (4e édition revue, corrigée et augmentée). Paris : Chez l'auteur.

Rouy, H. (1953). La curieuse vie de Charles Rouy (1770-1848). *Annales sedanaises d'histoire et d'archéologie*, (16), 17-22.

Salgues, J.-B. (1813). *De Paris, des mœurs, de la littérature et de la philosophie*. Paris : J. G. Dentu, imprimeur-libraire.

Sorel, Ch. (1634). *La science des choses corporelles. Première partie de la science humaine, où l'on connoist la Vérité de toutes les choses du Monde par les forces de la Raison ; et l'on treuve la refutation des Erreurs de la Philosophie vulgaire* (2 parties en 1 vol.). Paris : Chez Pierre Billaine.

Souffrin, P. (1993). Oresme, Buridan, et le mouvement de rotation diurne de la terre ou des cieux. In B. Ribémont (Ed.), *Terres médiévales* (pp. 277-333). [s. l.] : Éditions Klincksieck.

Stoffel, J.-Fr. (1998), La révolution copernicienne et la place de l'Homme dans l'Univers : étude programmatique. *Revue philosophique de Louvain*, 96(1), 7-50.

Stoffel, J.-Fr. (2002). La révolution copernicienne responsable du « désenchantement du monde » ? L'exemple des analogies solaires. *Revue belge de philologie et d'histoire*, 80(4), 1189-1224.

Stoffel, J.-Fr. (2005). Cosmologie versus idolâtrie : l'exemple de la désacralisation du Soleil. In R. Dekoninck & M. Watthée-Delmotte (Eds.), *L'idole dans l'imaginaire occidental* (pp. 195-216). Paris : L'Harmattan.

Stoffel, J.-Fr. (2014). Autour de l'affaire Galilée. *Revue d'histoire ecclésiastique*, 109(3-4), 895-907.

Stoffel, J.-Fr. (2018), Alexandre Koyré and the traditional interpretation of the anthropological consequences of the Copernican Revolution. In R. Pisano, J. Agassi & D. Drozdova (Eds.), *Hypotheses and Perspectives in the History and Philosophy of Science : Homage to Alexandre Koyré 1892-1964* (pp. 421-452). [s. l.] : Springer.

Stoffel, J.-Fr. (0000). « Qui choisirait de poser ce flambeau dans un lieu autre ou meilleur que celui d'où il peut illuminer le tout simultanément ? » : examen de la pertinence d'un argument copernicien de convenance, sous presses.

Torero-Ibad, A. (2009). La critique de la physique aristotélicienne dans les « Dialogues » de La Mothe Le Vayer. *Les Dossiers du Grihl*, mis en ligne le 30 août. URL : *http://dossiersgrihl.revues.org/3548*.

Tuzet, H. (1988). *Le cosmos et l'imagination* (2e édit.). Paris : Librairie José Corti.

Tyard, P. de (1557). *L'Univers, ou, Discours des parties, et de la nature du monde*. Lion : Jan de Tournes et Guil. Gazeau.

Tyard, P. de (2010). *Œuvres complètes* / sous la direction d'É. Kushner. Tome IV-1 : *Le Premier Curieux, ou Premier Discours de la nature, du monde et de ses parties* / texte établi, introduit et annoté par J. Céard. Paris : Éditions Classiques Garnier.

Tycho Brahé (1919). *Opera omnia*. Vol. 6 : *Epistolæ astronomicæ*. Tomus 1 : *Epistolarum astronomicarum liber primus (1596)* / edidit I. L. E. Dreyer, auxilio I. Ræder ; sumptus fecit G. A. Hagemann. Hauniæ : In libraria Gyldendaliana.

V. D. M. (1800). Aux Rédacteurs de la Décade philosophique. *La décade philosophique, littéraire et politique*, (18), 565-566.

Van Aerschodt, L. (1938). Satires contre les astronomes. *Ciel et Terre : Bulletin de la Société belge d'astronomie, de météorologie et de physique du globe*, 54, 390-393.

Verne, J. (1897). *Le sphinx des glaces* (2 parties en 1 vol.). Paris : J. Hetzel et Cie.

Vuillaume, M. (1902). Le pendule du Panthéon. *Le Radical*, 22(178), 2.

Wood, A. G. (1984). L'alouette canadienne de Cyrano. In B. Beugnot (Ed.), *Voyages : récits et imaginaire : actes de Montréal* (pp. 121-131). Paris ; Seattle ; Tübingen : Papers on French Seventeenth Century Literature.

Żelazowski, St. (1910). *L'instruction publique et la Commission d'éducation en Pologne* / thèse pour le Doctorat d'Université présentée à la Faculté des lettres de l'Université de Paris. Paris : Société générale d'imprimerie et d'édition Levé.

Zubov, V. P. (1963). Об одном поэтическом сравнении М. В. Ломоносова [= Sur une comparaison poétique de M. V. Lomonossov]. *Voprosy istorii estestvoznanija i techniki*, (14), 97-98.

Dans nos prochains numéros...

Marie Nihoul & Carlyne Arnould, *Comment évaluer les enfants ayant un trouble de l'acquisition de la coordination ? Développement d'un questionnaire évaluant l'habileté manuelle chez les enfants âgés de 5 à 12 ans ayant un trouble de l'acquisition de la coordination*

Romane Louette & Carlyne Arnould, *Comment évaluer les enfants ayant un trouble développemental de la coordination ? Développement d'un outil d'évaluation ludique mesurant la coordination des enfants atteints du trouble développemental de la coordination âgés de 5 à 12 ans*

Jacques Bair & Jean Mawhin, *Le mathématicien Jean-Nicolas Noël (1783-1867) : un didacticien infinicole du XIX*[e] *siècle*

Jean-Baptiste Coulaud, Anne-Marie Guillaume, Émilie Bertrand & Anne Genette, *« Sup en Poche » : quelle aide pour quels étudiants ?*

Le Soleil à la Renaissance et à l'âge classique

Michel Blay, *Soleil de Copernic et soleil de Galilée*

Jean Céard, L*e Soleil selon les physiciens de la Renaissance*

Viviane Mellinghoff-Bourgerie, *Connivences héliologiques entre théologie et astronomie chez François de Sales et Bérulle : le cas du barnabite Redento Baranzano*

Daniel Ménager, *Le soleil dans les fêtes de cour sous les derniers Valois*

Tomáš Nejeschleba, *De la métaphysique de la lumière à l'héliocentrisme : la vision du Soleil selon Valérien Magni*

François Roudaut, *Le Soleil chez quelques lexicographes et vulgarisateurs*

Jean Seidengart, *La parenté du Soleil et des étoiles fixes dans la cosmologie de Giordano Bruno*

Daniel Špelda, *Les soleils et leurs observateurs au XVII*[e] *siècle*

Jean-François Stoffel, *« Qui choisirait de poser ce flambeau dans un lieu autre ou meilleur que celui d'où il peut illuminer le tout simultanément ? » : examen de la pertinence d'un argument copernicien de convenance*

Comptes rendus

Histoire des sciences

Forti (Augusto), *Faust : le diable et la science* / traduit de l'italien par Patrick Vighetti ; préface de Dominique Lecourt. – Paris : Presses universitaires de France, 2017. – 128 p. – (Science, histoire et société). – 1 vol. broché de 12,50 × 19 cm. – 16,00 €. – isbn 978-2-13-078998-7.

Le mythe de Faust prend forme à une période-charnière de l'histoire européenne, la Renaissance, qui voit notamment l'essor tant du machinisme que de la bourgeoisie. Une pléiade de génies renouvelle tous les domaines de l'art et de la connaissance scientifique. Cet embrasement intellectuel contraste certes avec les massacres des guerres de religion, l'exploitation éhontée des indiens et autres habitants des pays colonisés, les derniers relents de la chasse aux sorcières, aux astrologues et aux esprits suspects. Forti rappelle que les deux principaux mythes de l'Occident moderne s'enracinent dans ce terreau. En effet, *El Burlador* (*L'abuseur de Séville*), du moine dominicain Tirso de Molina, paraît en 1630, alors que la première matrice de Faust l'avait précédé en Allemagne d'une petite cinquantaine d'années. Le parallélisme entre les deux mythes ne s'arrête pas là.

Tout comme la cristallisation espagnole des légendes médiévales[1] à l'origine du mythe de Don Juan pourrait se rattacher à Miguel Manara[2], le mythe de Faust prend ancrage dans un personnage bien réel, dont la biographie parue en 1587 est aussitôt traduite en anglais (1588). C'est ce dernier texte qui sert de matrice dramatique à Marlowe. Signalons toutefois l'existence d'une très belle ballade anonyme intitulée *Dr. Faustus*, déjà mentionnée en 1580[3]. Quoi qu'il en soit, le *Doctor Faustus* de Marlowe est joué dès 1592-1593.

Les deux mythes mettent également en scène une transgression moderne de l'ordre divin au nom d'une volonté de toute-puissance. Celle-ci est cependant appréhendée selon deux modalités différentes. La frénésie de ce piranha sexuel qu'est Don Juan et la

1. Jean Rousset, *Le mythe de Don Juan*, Paris : Armand Colin, 1976, pp. 109-114.
2. Cette identification d'un noble débauché qui finit en odeur de sainteté s'enracine dans une inscription sur sa dalle funéraire : « Ci-gisent les os et les cendres du pire homme qui fut au monde. Priez Dieu pour lui. » (Pierre Brunel, *Dictionnaire de Don Juan*, Paris : Robert Laffont, 1999, p. 588, coll. « Bouquins »).
3. *Dr. Faustus*, in *A Candle in the Dark*, Harmonia Mundi USA, 907140, 1999.

quête éperdue de connaissance à laquelle Faust sacrifie tout sont vécues comme autant de défis jetés à la face du Ciel. L'histoire regorge de séducteurs impénitents et d'esprits encyclopédistes : aucun n'atteint les dimensions du mythe. Seuls Faust et Don Juan y parviennent, précisément parce qu'ils touchent au sacré. Ils renouent avec le tragique destin d'Adam et d'Ève, d'Icare et de Prométhée.

L'intention théologique de la pièce de Tirso est manifeste. En divers passages du drame, une injonction est adressée au séducteur/abuseur (ce dernier terme ajoutant une nuance de perversité au comportement du gentilhomme) : « Dieu te garde, mais sache qu'il est une fin à tout, un châtiment et un enfer ! ». Mais Don Juan imperturbablement répond : « J'ai tout le temps de l'apprendre. » (Tirso de Molina, *L'abuseur de Séville*, acte I, scène V).

Faust est également l'histoire d'un transgresseur. Dès le *Prologue*, le chœur circonscrit les enjeux :

> « … *devenant le meilleur, capable de disputer*
> Calmement des dogmes divins de la théologie.
> Tant et si bien que, gonflé d'orgueil et de science,
> Il s'élève trop haut sur des ailes de cire
> *Que le ciel va faire fondre pour entraîner sa chute ;* » (v. 18-23).

Il est impossible de ne pas lire dans ces vers une allusion à peine déguisée à la chute d'Icare, recensée par Ovide dans le huitième livre des *Métamorphoses*. Ce vaste poème avait à l'époque une influence très profonde : ne mettait-il pas en scène la même luxuriance de personnages que *La divine comédie* de Dante ? Pieter Bruegel l'Ancien lui consacre une de ses compositions les plus recherchées (vers 1558)[1].

Mais l'auteur ne s'embarrasse guère de cette complexité des origines du mythe faustien. Une fois son ouvrage refermé, il apparaît que son fil conducteur peut se réduire au commentaire de quelques vers extraits de la première scène de l'acte I du Faust de Marlowe :

> « Oui, je veux être l'égal d'Agrippa, que toute l'Europe
> Honore pour avoir évoqué des fantômes. » (v. 116-117).

> « Alors, pars vite vers un bois solitaire
> En emportant les œuvres des sages Bacon et Albanus. » (v. 152-153).

Agrippa (1486-1535), médecin suisse d'obédience paracelsienne, le plus grand magicien de la Renaissance, Roger Bacon (1212-1292), philosophe franciscain d'Oxford et magicien réputé, Albanus (1250-1316), médecin italien très novateur sur le plan théorique, mais flirtant aussi avec la magie et surtout représentant du puissant courant averroïsant, étaient tous trois des esprits forts. En se centrant sur ces quelques vers, de surcroît isolés de leur contexte, Forti prolonge en réalité ses deux premiers livres : *Pro-*

1. Sur tout ceci, voir le livre classique de Robert Curtius, *La littérature européenne et le moyen âge latin*, traduction française par J. Bréjoux, Paris : Presses universitaires de France, 1956, 2 vol.

meteo : una storia dei rapporti fra szienza e societa dalla nascita scienza moderna (Armando Editore, 2013) et *Aux origines de l'Occident : machines, bourgeoisie et capitalisme* (Seuil, 2011). Le bourgeois renaissant Faust s'affranchit des contraintes religieuses et théologiques pour embrasser les idéaux techniques et conceptuels de la science moderne dans son émergence tâtonnante. La perspective est résolument laïque.

Ce faisant, Forti affadit considérablement le mythe. Il le vide de sa substance métaphysique et théologique, celle-là même que Goethe rétablira avec un éclat incomparable dans ses deux *Faust*. Il méconnaît ainsi l'un des plus vastes débats des sciences humaines au XXe siècle, celui d'une réhabilitation de la pensée mythique (Eliade, Dumézil, notamment). Dans un essai de définition du mythe, Eliade écrivait : « En somme, les mythes décrivent les diverses, et parfois dramatiques, irruptions du sacré (et parfois du « sur-naturel ») dans le Monde »[1].

Mais l'invention des mythes est de tous les temps. La fonction mythique de l'intelligence manifeste une fonction créatrice à toutes les époques : en Grèce (Platon ne se fera pas prier pour en exploiter la richesse), à Rome, chez les médiévaux et chez les hommes de la Renaissance (Don Juan, Faust). C'est que, par un tout autre chemin que celui emprunté par le concept, le mythe est à sa façon une plongée révélatrice au plus profond de la condition humaine. Il met en scène un face-à-face tragique entre l'Homme et le sacré. Pour que le mythe advienne, il faut que la transgression ait la radicalité d'un défi lancé à la face du divin, sans quoi elle ne serait pas en connivence avec le démoniaque. Cela suffit pour situer la portée du livre d'Augusto Forti. Par l'étroitesse de son point de vue, l'auteur démontre qu'il n'est ni une pensée, encore moins une « *Weltanschaaung* », tout au plus une bibliothèque.

A contrario, Faust est une « *Weltanschaaung* ».

Philippe Caspar
Hôpital Sainte-Thérèse (Bastogne)

Drahos (Alexis), *L'astronomie dans l'art de la Renaissance à nos jours*. – Paris : Éditions Citadelles & Mazenod, 2014. – 183 p. – 1 vol. relié de 28 × 24 cm. – 59,00 €. – isbn 9782-85088-605-8.

Auteur, en 2010, d'une thèse en histoire de l'art sur *Théories scientifiques et représentation du paysage dans l'Art occidental de la première moitié du XIXe siècle*, A. Drahos a fait paraître, durant la même année 2014, non seulement l'ouvrage qui nous retient, mais également, chez Hazan cette fois, *Orages et tempêtes, volcans et glaciers : les peintres et les sciences de la terre aux XVIIIe et XIXe siècles*. Conformément à son titre, le propos du livre est bien d'étudier, en cinq chapitres correspondant à autant de découpages chronologiques (avec, on l'aura deviné, une certaine prédilection pour les XIXe et XXe siècles), la présence de l'astronomie et de certains de ses thèmes (par ex. l'astrologie, la sélénologie, les comètes ou encore la vie extra-terrestre) dans une sélection d'œuvres d'art. Assez naturellement, celles-ci relèvent presque exclusivement de la peinture au sens large, même

1. Mircea Eliade, *Aspects du mythe*, Paris : Gallimard, 1988, p. 16, coll. « Folio/Essais ».

si l'on peut également y dénicher l'une ou l'autre broderie (la tapisserie de Bayeux), gravure sur bois (M. C. Escher), ou même installation (A. Calder). Mieux, il ne s'agit pas seulement d'attirer l'attention sur une présence, mais également, grâce à la prise en compte du contexte général, de manifester, toujours avec prudence, une véritable influence : celle exercée par l'évolution des connaissances astronomiques sur les artistes étudiés. Au sein de ce qui est avant tout un « beau livre » qui nous amène aussi bien à revisiter des œuvres connues — les *Très riches heures du duc de Berry* ou *La nuit étoilée* de Van Gogh — qu'à en découvrir d'autres qui le sont probablement moins — les sept planètes de Maarten Van Heemskerck ou les épreuves chromogènes de Thomas Ruff —, l'auteur a su trouver le style adapté à ce type d'ouvrage, soit un bon compromis entre les contraintes de la vulgarisation et les exigences de la rigueur scientifique. S'agissant d'un « Citadelles & Mazenod », il est bien sûr inutile de vanter la qualité de la mise en page et de la reproduction des œuvres d'art retenues. Un beau livre à offrir ou à s'offrir !

Jean-François Stoffel
Haute école Louvain-en-Hainaut

Ricciardo (Salvatore), *Robert Boyle : un naturalista scettico*. – Brescia : Editrice Morcelliana, 2016. – 441 p. – (Quaderni per l'Università ; 16). – 1 vol. broché de 15 × 21 cm. – 32,00 €. – isbn 978-88-372-2903-0.

Après la publication du livre de Steven Shapin et Simon Schaffer, *Leviathan and the Air-Pump: Hobbes, Boyle, and the Experimental Life*, la parution d'une nouvelle étude sur Robert Boyle est toujours un séduisant défi intellectuel. Salvatore Ricciardo, chercheur à l'Université de Bergame, a essayé d'insérer l'œuvre et la vie de Boyle dans le milieu culturel de la deuxième moitié du XVIIe siècle, quand la tradition de la philosophie naturelle subit un profond changement. Le corpus des connaissances naturelles, qui était considéré comme un domaine de pertinence de la philosophie, avait déjà subi la profonde contamination de deux corpus de connaissances qui étaient considérés comme étrangers à la philosophie : le corpus des arts mécaniques et celui des mathématiques du *quadrivium*. Cette contamination pouvait compter sur une histoire récente qui conduisait de l'humanisme mathématique et des recherches de Tartaglia, Cardano et Giudobaldo jusqu'à Galilée et Descartes.

La nouvelle philosophie naturelle, qui était encore en formation quand Boyle commença à écrire et à publier ses premiers textes, subit une nette tournure empirique dans l'œuvre de Boyle. Cet expérimentalisme, et en particulier la confiance dans le pouvoir des machines et dans le progrès déclenché par les machines, remettait en cause le rôle de l'homme dans la nature et sa position à l'égard de l'omniscience et de l'omnipotence divines. Sur ce nœud à la fois anthropologique, philosophique, politique et théologique s'est concentré l'attention de Ricciardo. Plus spécifiquement, sa recherche détaillée sur les textes de Boyle a voulu éclairer la relation problématique entre la nouvelle philosophie naturelle et la théologie, entre la sensibilité religieuse de Boyle et la confiance dans la valeur intellectuelle, pratique et sociale de la philosophie expérimentale. Selon Boyle, le progrès des sciences pouvait conduire à la réalisation de la prospérité matérielle aussi

bien qu'au bonheur spirituel : la philosophie expérimentale était donc une bonne alliée de la religion (pp. 33, 37, 55 et 123).

Il faut dire d'abord que Boyle ne fut pas seulement un philosophe naturel, mais un érudit en philosophie morale et un philologue intéressé par l'interprétation de la Bible. Pendant toute la durée de sa vie, il essaya de convaincre ses lecteurs de « l'harmonie entre la foi et la raison, entre la théologie et la science » (pp. 5-6 et 8). Il était membre d'une communauté intellectuelle qui partageait l'hostilité de Francis Bacon pour la philosophie scolastique et les puissances occultes et son enthousiasme pour une réforme radicale de la philosophie naturelle dans une direction empiriste. En 1661, il discuta pour la première fois les fondements méthodologiques de sa philosophie expérimentale dans la collection d'essais *Certain Physiological Essays* et dans le *Sceptical Chemist* : il explora la possibilité que la géométrie et le mouvement puissent expliquer les transformations de la matière. En réalité, il imagina différents niveaux de complexité dans la structure de la matière et envisagea la présence de *seminal principles* ou forces génératrices (pp. 189-190). Cette conception si compliquée devait contraster la possibilité d'une indépendance mutuelle entre l'activité de la matière et la volonté de Dieu. Le mécanisme et l'atomisme ne pouvaient pas trouver leur origine et leur justification en eux-mêmes (pp. 198-199).

Les deuxième et troisième chapitres de ce livre traitent de la formation philosophique et théologique de Boyle. Dans les deux autres chapitres, plusieurs thèmes de philosophie naturelle sont explicitement analysés : la nature de l'air et la fonction de la respiration, aussi bien que le rôle de la chimie dans l'étude de l'anatomie humaine. Dans le texte qu'il publia en 1663, *Some Considerations touching the Usefulness of Experimental Natural Philosophy*, Boyle montrait une bonne connaissance, théorique et pratique, de la médecine (p. 124). Pour ses études sur la constitution de la matière et l'origine du mouvement, Boyle se confronta surtout avec trois systèmes de philosophie naturelle : le mécanisme corpusculaire de René Descartes, la philosophie mécaniste de Thomas Hobbes et l'atomisme *chrétien* de Pierre Gassendi (p. 113). Contre l'atomisme, Boyle niait que les corpuscules puissent être dotés d'un principe de mouvement qui leur soit propre : selon Boyle, le monde matériel ne pouvait pas être « indépendant de son Créateur » (p. 172).

L'élasticité de l'air et la transmission de la lumière impliquaient le vieux débat sur l'existence du vide et la présence d'une matière subtile dans l'espace dépourvu d'air (chapitre neuvième). Les expériences que Boyle réalisa avec sa pompe à vide ne semblaient pas résoudre le problème : paradoxalement, elles soulevaient de nouveaux problèmes sur la fiabilité des instruments scientifiques et sur la possibilité réelle de reproduire les résultats expérimentaux. Durant l'automne 1859, il avait déjà dédié son œuvre *New Experiments Physico-Mechanicall, Touching the Spring of the Air, and its Effects* à l'élasticité de l'air : la pression exercée par l'atmosphère découlait de son poids, mais également de son élasticité (pp. 201-202).

Les deux derniers chapitres sont dédiés aux critiques que Boyle avait reçues d'Henry More et de Thomas Hobbes : la philosophie expérimentale de Boyle et sa confiance dans la possibilité d'une véritable connaissance de la nature au moyen des instruments scienti-

fiques contrastaient avec le néo-platonisme de More et le matérialisme de Hobbes. En 1661, Hobbes avait critiqué la fiabilité des expériences contenues dans *Spring of the Air* et, plus généralement, les fondements de la philosophie expérimentale qui avait suggéré ces expériences. Selon Hobbes, les philosophes expérimentaux de la Royal Society se bornaient à accumuler expériences sur expériences sans offrir aucune explication de la cause des phénomènes et de la nature des corps (p. 227). Entre 1668 et 1678, More avait publié plusieurs œuvres contre la philosophie mécaniste, en particulier contre la métaphysique et la physique cartésiennes, et avait avancé des explications de la gravitation en termes de « causes immatérielles non mécaniques » (p. 308).

Contre More, Boyle défendait la compatibilité entre son mécanisme empirique et la théologie chrétienne (p. 316). Contre Hobbes, et surtout contre la conception d'un Dieu corporel, il développa une réfutation générale dans *Some Considerations about the Reconcileableness of Reason and Religion* (pp. 332-333). Il ne souligna pas seulement la supériorité de sa philosophie expérimentale et de son hypothèse corpusculaire sur la philosophie naturelle Aristotélicienne, le néo-Platonisme, la chimie Paracelsienne et la métaphysique Cartésienne, mais il publia également, en 1681, un livre sur les limites de la raison : *A Discourse of Things above Reason*. Une raison correcte (*right reason*) était une raison « éclaircie par la révélation divine », un concept qu'il développa dans le dialogue *How the Christian Religion Conforms to Reason*, qui resta non publié jusqu'à sa mort (pp. 388-389 et p. 393).

Après avoir pu donner seulement un aperçu des nombreux thèmes abordés dans cet ouvrage qui intéressera tous les historiens de la science, il ne nous reste plus qu'à féliciter son auteur.

Stefano Bordoni
Università di Bologna & Università degli studi di Urbino

Baudet (Jean C.), *Histoire de la chimie*. – Louvain-la-Neuve : De Boeck Supérieur, 2017. – viii, 354 p. – 1 vol. broché de 17 × 24 cm. – 32,00 €. – isbn 978-2-8073-0692-9.

Les éditions De Boeck Supérieur viennent de publier une *Histoire de la chimie* proposée par Jean Baudet, auteur bien connu pour ses nombreux ouvrages consacrés à l'histoire et à la philosophie des sciences et des techniques. Ce livre fait partie d'une nouvelle édition, entièrement refondue et actualisée, de son *Histoire de la pensée scientifique* en neuf volumes, publiée chez Vuibert de 2002 à 2009. Il s'inscrit dans la suite des ouvrages déjà parus : *Histoire des mathématiques* (2014), *Histoire de la physique* (2015), *Histoire des techniques* (2016), et devrait être suivi par une *Histoire de la biologie et de la médecine* en 2018.

Comme l'auteur l'indique dans son avant-propos, le but poursuivi n'est pas de rassembler des anecdotes sur la vie des grands chimistes, mais d'analyser le cheminement qui a sous-tendu la lente évolution des idées anciennes vers la science actuelle. Pour ce faire, il nous invite à considérer l'histoire des idées, depuis les philosophes grecs jusqu'à la Renaissance, à nous pencher sur les progrès induits par les expérimentateurs qui ont

précédé Lavoisier, et, à partir de celui-ci, à prendre en compte l'importance de l'utilisation d'instruments d'observation de plus en plus sophistiqués pour « comprendre de quoi est faite la matière ».

Le livre est agréablement écrit et a l'ambition, selon les déclarations liminaires de l'auteur, de rencontrer un public cultivé et de s'adresser tant aux débutants qui ne savent pas encore, qu'aux spécialistes qui savent déjà. Ce vœu est en bonne partie réalisé, car les dons didactiques de l'enseignant chevronné qu'est Jean Baudet transparaissent tout au long du récit. Parfois même, le lecteur est emmené sur des sentiers parallèles, où on lui rappelle discrètement des notions importantes de physique, de biologie ou de philosophie destinées à compléter des exposés plus spécifiquement chimiques. L'explication du raisonnement et des calculs d'Archimède destinés à déterminer si la couronne du roi de Syracuse était en or pur est, par exemple, un modèle dont des professeurs pourraient s'inspirer (p. 20) ; les formules, équations et démonstrations sont volontairement en nombre limité, mais cela aboutit parfois à des raccourcis quelque peu abrupts, comme on peut le constater dans le traitement expéditif réservé à l'équation de Schrödinger (p. 266).

Quant au fond de l'œuvre, le lecteur ne doit pas s'attendre à un exposé froidement objectif de l'histoire de la chimie. Ceux qui connaissent et apprécient les convictions de l'auteur savent qu'il attribue à l'histoire des sciences un rôle clef pour répondre à une crise profonde de notre civilisation. En effet, les repères semblent se dissoudre alors que s'installe un retour au fanatisme sous couvert de recherche de spiritualité, sans oublier l'inquiétude bien compréhensible face aux questions éthiques que soulèvent les nouveaux horizons de la technologie (robotique, intelligence artificielle, frontières de la vie…). À partir de ce constat, il est essentiel aux yeux de l'auteur de réexaminer les sources du savoir dit « scientifique », dont le domaine de pertinence est souvent limité à des objets et des phénomènes particuliers, mais qui, bien que limité aussi dans des champs d'application précis, est en fin de compte la seule forme de savoir produite par l'être humain qui puisse être vérifiée. Pour Jean Baudet, inscrire le développement des sciences dans une histoire globale de la pensée humaine peut contribuer à éclairer la crise que traverse la civilisation occidentale.

Cette perspective produit une vue particulière de l'histoire des sciences et de celle de la chimie en particulier, à laquelle on peut adhérer sereinement ou à l'égard de laquelle on peut émettre quelques objections. Le titre *Penser la matière* (celui du volume précédent) était probablement plus proche du véritable contenu de ce livre-ci, malgré une chronologie mieux articulée dans le présent opus, car ce que Jean Baudet examine, c'est bien la façon dont l'homme a, depuis les Grecs, expliqué la matière, en se focalisant sur les modèles mécaniques ou physiques.

Les présupposés qui se dégagent de la narration et qui sont à l'origine de sa démarche en histoire des sciences pourraient se résumer comme suit : 1°) le développement des sciences est une activité intellectuelle qui rejoint l'une des réflexions philosophiques de l'homme sur sa position au monde (en définitive la continuation de la réflexion des Grecs anciens) ; 2°) le développement de la science peut par conséquent s'expliquer selon un fil narrateur simple et linéaire (ou presque) ; 3°) l'histoire d'une science permet dès

lors d'expliquer comment cette science en est arrivée là, voire de l'enseigner, en conséquence du cheminement linéaire qui est privilégié.

On peut questionner ces présupposés lorsqu'ils sont appliqués à la chimie et examiner ce qu'ils apportent ou retranchent de l'histoire de la science chimique. Le principal danger de cette approche (et du format d'un livre aussi court) est celui du réductionnisme. Plus d'un chimiste froncera les sourcils en lisant cette affirmation « …si la chimie est en somme une partie de la physique » (p. 4) ou bien celle-ci : « la chimie n'est plus, en 1916, qu'un chapitre de la physique » (p. 256). Il faudrait, pour bien faire, que l'auteur considère comment cette simplification inévitable affecte son objet de recherche et d'enseignement, et qu'il prévienne le lecteur... ce qui ne semble pas être le cas.

Le préjugé que la chimie évolue en se réduisant (ou se confondant) avec la physique (ou qu'elle s'est toujours confondue avec elle) est une opinion fort répandue. Une philosophie de la chimie s'est développée depuis une vingtaine d'années avec l'objectif de dépasser cette conception qui présente une image de la chimie amputée du génie propre à ce domaine intellectuel, théorique et finalisé à la fois[1]. D'autre part, la chimie est une science inventive qui ne se limite pas à ses propres règles lorsque la matière ne semble pas s'y plier. Bien au contraire. L'exemple le plus frappant est celui des composés de coordination que peu d'histoires de la chimie mentionnent et qui pourtant constituent un aménagement hardi de la théorie de la valence, sans compter les applications pratiques que cela a permis de réaliser aujourd'hui encore.

Ceci étant dit, toute narration oblige à des simplifications et le choix d'un fil narratif est inévitablement réducteur. La remarque ci-dessus ne diminue en rien la qualité de la narration et l'intérêt de la lecture. L'éclectisme de l'auteur transparaît à toutes les pages et un souffle lyrique se fait même jour dans les chapitres ultimes, consacrés au « Secret de la Vie ». On y retrouve le souvenir des belles envolées de Pierre Rousseau dans son Histoire de la science (Fayard 1945) ! Il y a de quoi enthousiasmer un jeune lecteur ou raviver la flamme d'un chercheur chevronné dans la quête de la « vérité » (p. 229), comme le souhaite Jean Baudet. Ce livre donne aussi matière (!) à penser, qu'on partage la position philosophique de l'auteur ou non. N'est-ce pas là la principale mission d'un livre comme celui-ci ?

Bernard Mahieu
Université catholique de Louvain

Brigitte Van Tiggelen
Science History Institute

Collins (Harry M.), *Gravity's Kiss : The Detection of Gravitational Waves*. – Cambridge (MA) ; London : The MIT Press, 2017. – vi, 408 p. – 1 vol. relié de 16 × 23,5 cm. – 29,00 €. – isbn 978-0-262-03618-4.

Le 11 février 2016 était officiellement annoncée la première détection d'ondes gravitationnelles par l'expérience LIGO (Laser Interferometer Gravitational wave Observat-

1. De nombreux ouvrages existent en anglais dont le récent *Essays in the Philosophy of Chemistry*, édité par Eric Scerri et Grant Fisher (Oxford University Press, 2016) et en français, Bernadette Bensaude-Vincent, *Matière à penser : Essais d'histoire et de philosophie de la chimie* (Presses universitaires de Paris Nanterre, 2008).

ory). Plus précisément, l'événement présenté a été détecté le 14 septembre 2015 et correspond aux prédictions de la Relativité générale concernant la coalescence de deux trous noirs. Que s'est-il passé, entre ces deux dates, au sein de ce groupe de recherche réunissant plus d'un millier de scientifiques ? Quelles étapes d'analyse et de validation ont été nécessaires avant la présentation des résultats définitifs ? C'est le sujet abordé par Harry Collins, sociologue des sciences, dans le présent ouvrage. L'auteur n'en est pas à son coup d'essai en matière d'ondes gravitationnelles : dès le début des années 1970, il a choisi de consacrer une partie de ses recherches au fonctionnement de la communauté scientifique rattachée à LIGO – une *case study* longue de 45 ans. Il a ainsi publié récemment *Gravity's Ghost and Big Dog : Scientific Discovery and Social Analysis in the Twenty-First Century* (University of Chicago Press, 2013), détaillant un cas de fausse détection. Il nous livre maintenant un compte-rendu « de l'intérieur » de cette première véritable observation.

Le livre est divisé en courts chapitres. Les dix premiers retracent chronologiquement les réactions et agissements des scientifiques de LIGO depuis l'alerte du 14 septembre jusqu'à l'acceptation de l'article correspondant[1]. Le texte est émaillé de nombreuses reproductions de mails échangés en interne. Des commentaires sur les enjeux scientifiques et épistémologiques des différentes étapes apportent un recul bienvenu au récit – captivant, il faut le souligner. Deux chapitres sont ensuite dédiés à l'annonce de la découverte et à sa réception. Ils se concluent par une relecture de l'histoire relatée à la lumière des convictions de l'auteur en tant que sociologue des sciences. S'ensuivent des annexes où se côtoient en vrac des réflexions philosophiques additionnelles, des informations sur Harry Collins et des documents internes à la collaboration LIGO. Quelques coquilles et redondances dans cette dernière partie rappellent l'importance, pour l'auteur et son éditeur, de commercialiser l'ouvrage rapidement afin de profiter au mieux du succès médiatique du centenaire de la Relativité générale.

Qu'en est-il plus précisément du contenu de ce livre ? Bien entendu, des éléments techniques doivent être rappelés afin de décrire le fonctionnement du détecteur ainsi que les données présentées. Il y a, à ce sujet, assez d'informations pour satisfaire l'amateur de sciences « dures » sans pour autant décourager le lecteur moins versé dans ces matières. La physique des trous noirs est malheureusement trop peu abordée. Le lecteur désireux de mieux connaître ce sujet et les chercheurs qui y ont contribué pourra par exemple consulter le magistral ouvrage de vulgarisation de Kip. S. Thorne : *Trous noirs et distorsions du temps* (Champs Flammarion). Le but de Harry Collins n'est cependant pas de discuter des aspects technico-scientifiques de LIGO, mais bien de la *démarche* permettant de conclure à la « réalité » de la découverte. Trois questions traversent le texte. Premièrement, il apparaît que deux semaines ont suffi aux membres de LIGO pour être intimement convaincus d'avoir observé un signal provenant de la fusion de deux trous noirs. Comment passer de cette conviction à l'annonce d'une découverte qui soit acceptable par la communauté scientifique ? Deuxièmement, peut-on encore parler de « détection directe » d'ondes gravitationnelles dans le cas d'un dispositif d'une com-

1. B. P. Abbott *et al.* (Ligo Scientific Collaboration and Virgo Collaboration) Phys. Rev. Lett. 116, 061102 (2016) ; https://journals.aps.org/prl/pdf/10.1103/PhysRevLett.116.061102

plexité technologique aussi extrême ? Qu'a-t-on mesuré au juste ? Troisièmement, peut-on affirmer avoir « observé expérimentalement » la coalescence de deux trous noirs ? En d'autres termes : dans quelle mesure l'adéquation entre un modèle théorique et une expérience valide-t-elle la représentation de la Nature qu'elle suggère ? *Gravity's kiss* propose deux types de réponses à ces trois questions : les débats parfois vifs entre membres du groupe de recherche (point de vue interne) et l'opinion de l'auteur (point de vue externe). Celui-ci expose un avis assez clair. D'une part, et on pourrait difficilement le contester, il voit dans l'expérience LIGO une illustration de la dynamique de la physique telle que la décrit Duhem : c'est bien la cohérence totale de *toutes* les connaissances sur la Relativité générale qui est testée ici et non pas une expérience confirmant une théorie. D'autre part, il plaide pour un relativisme méthodologique dans l'étude des sciences : il est possible que les scientifiques aient effectivement dévoilé une nouvelle facette de la Nature au travers de cette détection, mais l'affirmation d'une découverte, au vu des normes scientifiques actuellement en vigueur, n'est pas plus que le résultat d'un consensus entre toutes les parties prenantes. Ce point de vue peut être résumé par l'extrait suivant, à l'humour si *British* : « Les scientifiques doivent-ils adopter une vision relativiste ? Certainement pas ; le monde des scientifiques doit être réaliste. Autrement, comment pourraient-ils trouver l'énergie de faire leur travail et l'envie de ruiner leur vie sociale pour un dix-millième de la taille d'un proton ? (…) [Pour ma part], je dois écarter toute perspective réaliste, si pas toujours, au moins lorsque j'écris un chapitre comme celui-ci. » (p. 287).

Au final, *Gravity's kiss* est un texte enrichissant qui, non seulement, relate ce qui est aujourd'hui considéré comme une des découvertes majeures de l'histoire de la physique (Prix Nobel de Physique 2017), mais qui, en outre, pose à son propos des questions pertinentes. Que l'on soit en accord ou pas avec l'interprétation de l'auteur, l'ouvrage constitue certainement une belle invitation à une réflexion plus globale sur la science contemporaine et son fonctionnement.

Fabien Buisseret
Haute école Louvain-en-Hainaut

Blay (Michel), *Critique de l'histoire des sciences*. – Paris : CNRS éditions, 2017. – 301 p. – 1 vol. broché de 14 × 20,5 cm. – 22,00 €. – isbn 978-2-271-09184-0.

Il y a bien des manières de traiter de l'histoire des sciences. Elles dépendent en réalité essentiellement des questions auxquelles l'historien lui-même souhaite répondre selon qu'il s'intéresse davantage aux savants, aux textes, aux contextes intellectuels ou sociaux, aux techniques ou aux concepts, ou encore, de manière plus abstraite, aux objets de connaissance. En guise de réponse, l'historien des sciences entreprend de désigner des ruptures et des continuités, des influences directes ou indirectes, des contingences et des nécessités, des paradigmes et des anecdotes. Entre l'épistémologie historique à la française et les « Science and Technology studies » à l'anglo-saxonne, on aboutit, dans tous les cas, à un exposé obéissant à ses propres règles d'écriture. Tout est affaire de méthodologie.

Ce que Michel Blay entend souligner avec force dans *Critique de l'histoire des sciences* est aussi une question de méthodologie. Mais son propos ne consiste pas à préférer une méthode plutôt qu'une autre, puisqu'elles dépendent en grande partie de l'objectif que l'historien se fixe à lui-même. Il consiste en revanche à rappeler toute l'importance de ce qui constitue l'implicite commun qui doit guider sans relâche les objectifs de la recherche quels que soient les objectifs de l'historien. Or cet implicite ne dépend pas des questions que se pose l'historien, mais de celles que se posent ceux dont on étudie la science qu'ils pensent et qu'ils pratiquent. Non pas les implicites sociaux ou culturels locaux, non pas le mouvant intellectuel d'une communauté ou d'une société savante, mais les mouvements de fond, les grandes lignes d'horizon, les élans de masse, les objets de contemplation, les tenants culturels et même cultuels universels ou presque ou, pour ainsi dire, les idoles des temps. L'historien des sciences ne doit jamais perdre de vue la question essentielle à ses recherches à laquelle toutes les autres se rattachent peu ou prou : de quoi la pensée savante en train de se faire se veut-elle être le réceptacle ? Autrement dit, la méthode d'analyse du contenu de la science, qu'il soit conceptuel, spirituel ou social, ne peut être bien menée pour autant qu'elle accepte de se laisser guider un tant soit peu par la conscience permanente de l'existence d'un contenant propre à la pensée savante étudiée. Sans ce décentrement permanent auquel l'historien des sciences doit se soumettre, le risque est d'écrire une histoire des sciences autocentrée, seulement capable de lire le cheminement de la pensée savante à la lumière de ses propres implicites scientifiques actuels.

Pour se soumettre à l'exercice, Michel Blay réaffirme la nécessité qui incombe à l'historien des sciences de s'en tenir au seul critère qui vaille et qui soit propre à définir les contours du contenant d'une pensée scientifique étudiée : l'ordre démonstratif. C'est la science en tant que *logos*, en tant que discours argumentatif qui doit être considérée comme le contenant privilégié de la science dont on souhaite écrire l'histoire. C'est d'ailleurs là la différence entre savoir et science : « Dans la démonstration, l'enjeu est formel ; ce qui compte, ce n'est pas le contenu, mais la façon d'ordonner tel ou tel savoir ; un savoir qui, une fois ordonné démonstrativement, devient au sens strict, d'un point de vue général, ce que j'appelle "science"» (p. 17).

Quatre périodes sont ainsi proposées à la réflexion : la période grecque ou celle de « l'intelligible », la période médiévale ou celle de « l'ordre théologico-cosmique chrétien », la période moderne ou celle du « mathématique » et enfin la période contemporaine ou celle de « l'ordre économico-cosmique énergétiste ».

La première est fondatrice en ce qu'elle détermine les trois concepts qui servent de guide pour la suite de l'analyse : la science, la nature et enfin l'artifice, c'est-à-dire la technique ou encore ce qui peut prendre l'allure de ce qui est contre-nature.

S'agissant de la période médiévale, il n'est pas envisageable de sonder la pensée savante médiévale en Occident sans prendre en compte le donné théologique comme principale matrice spirituelle et intellectuelle, et le mystère chrétien comme cadre de pensée et même d'imaginaire à l'intérieur duquel toute spéculation tire sa légitimité ; car, dans ce cadre, la théologie est la reine des sciences. De ce point de vue, ce qu'on prend comme une révolution, celle de Copernic, prend un sens nouveau dès lors qu'on

le considère à la lumière de la méditation du mystère de l'Incarnation. La participation de la Terre au ciel immuable peut en effet être reçu comme la préfiguration de la participation de l'homme à la nature divine ; comme l'épiphanie cosmique de l'Emmanuel.

S'agissant de la période moderne, c'est la mathématique qui offre ses vastes horizons à la pensée savante au point que l'auteur de la *Critique de l'histoire des sciences* parle d'« explicitation mathématique ». C'est un puissant mouvement intellectuel propre aux sciences de la nature. Ne retenant en fin de compte de l'idéal chrétien que ce qu'il comporte d'universel, « le mathématique » consiste à faire de la quantité — géométrique ou algébrique — l'alpha et l'oméga de la pensée savante. La compénétration du physique et du mathématique inaugure une fécondité nouvelle dès lors que l'idéalité du mathématique ouvre la pensée au cas d'étude physique idéal.

Et puis il y a l'ordre économico-énergétiste, le nôtre. Celui où le technique se subordonne à l'économique. Dans cet univers de pensée, on ne raisonne plus en termes d'augmentation et de diminution, mais de perte et de gain ; et l'aboutissement de la réflexion ne se trouve plus dans l'idéalité de la connaissance reconstituée du monde, mais dans le travail que peut fournir une machine. La nature est un réservoir d'énergie, une sorte de puits sans fond propre à garantir rentabilité et prospérité.

En un sens, *Critique de l'histoire des sciences* est la résonnance méthodologique de la longue plaidoirie ontologique en faveur de *l'exister* que Michel Blay a patiemment traitée dans *Dieu, la nature et l'homme* (Armand Colin, 2013). On y retrouve l'incarnation de la géométrie céleste de Copernic et l'*homoenergeia* où l'homme s'insère lui-même dans son propre discours savant comme une sorte de condition de possibilité de sa science.

Cyril Verdet
Syrte – Observatoire de Paris

Sciences et religions

Arnould (Jacques), *Turbulences dans l'univers : Dieu, les extraterrestres et nous*. – Paris : Éditions Albin Michel, 2017. – 281 p. – 1 vol. broché de 14,5 × 22,5 cm. – 19,50 €. – isbn 978-2-226-32618-8.

Parce qu'il estime inutile d'attendre que l'existence d'une vie extraterrestre soit scientifiquement avérée pour commencer à anticiper les conséquences théologiques qui en résulteraient ; parce qu'il croit que les probabilités de la découverte d'une telle existence n'ont jamais été aussi élevées qu'à notre époque ; parce qu'il pense qu'une telle découverte, loin de nous contraindre à poser un choix exclusif entre Dieu et les extraterrestres (comme d'aucuns se plaisent à le faire croire), pourrait, au contraire, constituer une véritable opportunité pour faire progresser, dans l'intelligence de leur foi, ceux qui auront le courage de prendre au sérieux cette nouvelle donne au lieu d'en rester aux adaptations cosmétiques strictement requises par cette nouvelle situation ; parce qu'il estime que la tradition chrétienne a suffisamment de ressources internes pour affronter cette découverte potentielle et gérer le choc spirituel qui ne manquerait pas d'en résulter, l'auteur

de cet essai s'est demandé, en théologien chrétien, non pas si la foi s'accommoderait ou non d'une telle existence, mais plutôt quel regard renouvelé cette existence l'amènerait à porter sur les fondements de la religion qui est la sienne. Pour ce faire, il nous invite à pratiquer, avec lui, une expérience de pensée : postuler, sans autres précisions superfétatoires, l'existence d'une vie extraterrestre évoluée et éventuellement intelligente.

Au sein d'un livre coupé en deux parties très différentes et sans guère de connexions entre elles — un récit historique de seconde main d'une part, un essai théologique de l'autre —, cette expérience de pensée occupe la seconde, alors que la première nous propose, sur plus d'une centaine de pages, « l'histoire d'une croyance », en l'occurrence le relevé vulgarisé de tous les auteurs s'étant exprimés, depuis Épicure jusqu'au XXe siècle, sur la pluralité des mondes et/ou sur la possibilité d'une vie extraterrestre. S'il présente assurément l'intérêt d'être très complet et instructif, ce relevé, au sein duquel chaque auteur a droit à quelques lignes, n'offre cependant pas une analyse approfondie des positions des uns et des autres et s'avère le plus souvent inutilisable pour l'historien de profession en raison de l'absence de toutes références bibliographiques. Sous prétexte que cette histoire se réduit à n'être rien d'autre qu'une « cacophonie » ou qu'un « dialogue de sourds » (p. 145), l'auteur ne dresse aucune synthèse ni aucune conclusion de cette première partie, se privant ainsi de tirer parti de la documentation qu'il a pourtant accumulée. Il n'eut pourtant pas été inintéressant de faire le relevé des principes utilisés au cours de ce débat millénaire et de retracer l'évolution de leur usage au cours du temps : le principe d'homogénéité et d'uniformité, selon lequel tout est partout identique (ex. : il existe ici une Terre habitée, donc il doit aussi en exister ailleurs) ; le principe de plénitude, qui soutient que tout ce qui est possible doit forcément être (ex. : un monde infini ou une pluralité infinie de mondes est possible, donc il doit en être ainsi, sans quoi cette cause infinie qu'est Dieu ne donnerait pas lieu à des effets qui soient eux-mêmes infinis) ; le principe d'unité, qui affirme que le monde est véritablement un cosmos beau et harmonieux (ex. : la perfection du cosmos est tributaire d'une unité qui ne peut se contenter d'être perceptible par Dieu seul, mais qui doit aussi se manifester aux hommes à travers la création elle-même ; donc la pluralité de mondes distincts les uns des autres est inacceptable) ; la conviction de l'existence d'un finalisme généralisé au sein de la Création, en l'occurrence la croyance qu'une réalité qui ne serait en vue d'aucune fin particulière ne pourrait pas exister (ex. : les satellites de Jupiter ne peuvent avoir été créés pour les Terriens, puisque ceux-ci viennent seulement de prendre conscience de leur existence ; donc il doit exister, sur Jupiter, des habitants pour lesquels ils sont utiles) ; la nécessité de respecter la sacro-sainte toute-puissance de Dieu, soit le critère par excellence qui servait, principalement au moyen âge, à jauger l'orthodoxie, et donc la vérité, d'une affirmation quelle qu'elle soit (ex. : prôner un monde unique, c'est arbitrairement limiter la toute-puissance de Dieu ; donc il faut veiller à laisser au Créateur la possibilité de créer un seul monde ou au contraire une pluralité de mondes) ; et enfin, *last but not least*, la conviction anthropocentrique, soit l'idée selon laquelle l'homme est le sommet et la fin dernière de la création (ex. : rien ne doit venir amoindrir la relation unique et privilégiée qui existe entre Dieu et les hommes, donc les extraterrestres n'existent pas). Autant de principes qui, bien sûr, se renforcent ou se combattent mutuellement. De même, il n'eut sans doute pas été inutile de dresser, en conclusion, l'inventaire non seulement des arguments avancés par les uns et les autres, mais encore

des problèmes soulevés. Ceux-ci, à partir du début du XVe siècle, cessent de tourner autour de la toute-puissance créatrice de Dieu pour se focaliser sur la difficile question du péché des extraterrestres et des modalités de leur éventuel salut. De ce point de vue, plusieurs échappatoires permettent d'éviter de mettre en question les dogmes chrétiens de l'Incarnation et de la Rédemption : 1°) les extraterrestres n'existent tout simplement pas ; 2°) ils existent, mais ce ne sont pas des hommes ; 3°) ce sont des hommes, mais qui ne descendent pas d'Adam, de sorte qu'ils n'ont pas été touchés par le péché originel. En revanche, envisager, voire affirmer, leur existence et leur nature de pécheur, c'est s'exposer à une avalanche de problèmes : la Rédemption opérée sur la seule Terre peut-elle apporter le salut à toutes les créatures de l'univers ou faut-il admettre des Incarnations multiples ? Celles-ci doivent-elles être simultanées ou successives ? À moins que Dieu dispose d'un autre moyen que celui que nous connaissons pour remettre leurs fautes aux pécheurs… Comme en témoigne ce bref aperçu, ce sont principalement la théologie de la création et la christologie qui, face à une existence extraterrestre, doivent être pensées à nouveaux frais.

Dans la seconde partie que nous développerons moins, car elle concerne moins directement les lecteurs de la *Revue des questions scientifiques*, l'auteur s'attache à repenser ces pans de la théologie chrétienne en s'inspirant de Teilhard de Chardin et en ayant en ligne de mire les créationnistes et les fondamentalistes — ce qui est normal —, mais également — ce qui est tout de même plus délicat — cet anthropocentrisme qu'il qualifie à maintes reprises de « maquillage » et dont il feint d'ignorer qu'il trouve sa source directement dans la Bible. Nous comprenons bien qu'il doive le faire : les religions les plus vulnérables face à la découverte d'une vie extraterrestre évoluée sont effectivement celles qui soutiennent un tel anthropocentrisme, mais le rejet d'une conception aussi prégnante aurait sans doute mérité un travail d'élucidation historique et conceptuelle qui ne nous semble pas avoir été fait.

Pour autant qu'on le prenne pour ce qu'il est — un bon ouvrage de vulgarisation qui véhicule auprès du grand public un message intéressant et qui donne à réfléchir —, cet ouvrage est non seulement tout à fait digne d'intérêt, mais véritablement le bienvenu.

Jean-François Stoffel
Haute école Louvain-en-Hainaut

Moritz (Joshua M.), *The role of theology in the history and philosophy of science*. – Leiden ; Boston : Brill, 2017. – 105 p. – (Theology). – 1 vol. électronique. – 70,00 €. – isbn 978-90-04-36022-8.

Il s'agit d'un livre qui se caractérise par une grande clarté et un souci pédagogique. Son but est d'analyser le rôle positif qu'a joué la théologie chrétienne dans le développement des sciences en Occident, en se démarquant de la thèse unilatérale et largement idéologique de l'existence d'un conflit permanent et profond entre les domaines de la foi et de la science.

Le livre débute par une introduction très instructive et documentée décrivant le panorama des études « sciences-foi » du début du vingtième siècle à nos jours. Cette

introduction est très intéressante, car elle permet de saisir, dans ses grandes lignes, l'évolution du contenu et du type de ces études. Un étudiant pourra y trouver un guide de lecture exceptionnel pour s'introduire au sujet.

La première partie de l'ouvrage offre une étude historique des interactions entre les sciences et la foi chrétienne en se basant sur deux études de cas : d'une part la question de la dissection humaine au Moyen-Âge et, d'autre part, la célèbre « affaire Galilée ». L'auteur montre de manière convaincante que l'on ne peut absolument pas s'en tenir à l'idée d'une guerre pure et simple entre sciences de la nature et théologie chrétienne. Des interactions positives ont été souvent présentes entre les deux domaines. Et le livre montre que l'on s'est peut-être trompé en confondant une tension *philosophique* permanente entre des courants conservateurs et des courant plus progressistes (innovateurs, spéculatifs), existant d'ailleurs dans les deux domaines, avec un conflit global entre science et religion. À la lecture de l'ouvrage, on comprend que cette confusion ne tient pas et que le christianisme a joué, de temps à autre, un rôle effectif et positif dans l'aventure scientifique. Mais comment cela est-ce possible et pensable ? La deuxième partie de l'ouvrage, plus conceptuelle, y répond.

En effet, cette deuxième partie s'attache à montrer que les sciences ne peuvent se passer de présupposés métaphysiques et de valeurs éthiques. Par exemple, les sciences présupposent l'existence d'un monde réel, ordonné et appréhendable (au moins en partie) par la raison humaine. Souvent, l'idée d'une unité profonde du cosmos est présupposée. Dans une certaine mesure, la science présuppose qu'il existe, dans le monde, de la nécessité et de la contingence (ce qui recouvre parfois la distinction entre des lois universelles et des conditions initiales, qui elles-mêmes ne sont pas déduites de lois fondamentales), même si l'on pourrait discuter ce point. La science pour se développer repose donc sur un cadre conceptuel qui est déjà informé d'une série de présupposés qui ne sont pas strictement dérivables de la connaissance empirique ou formelle. Or, l'auteur montre que ces présupposés « méta-physiques » ont pu être soutenus par des idées proprement théologiques : l'idée d'un Dieu créateur d'un monde ordonné et rationnel ; l'idée que le monde créé n'est pas Dieu (ni une partie de Dieu) et donc qu'il a une certaine autonomie et qu'il est contingent (n'étant pas le produit d'une nécessité en Dieu, mais le fruit d'un don gratuit), etc. La théologie de la création a, de ce fait, joué un rôle pour fournir un fondement à des présupposés philosophiques qui, à leur tour, ont structuré et motivé l'activité scientifique. Bien entendu, l'auteur n'exclut pas que certaines interprétations théologiques ont fait obstacle à certains développements d'idées scientifiques, mais il montre aussi que le scientisme a pu aussi jouer un rôle inhibiteur en histoire des sciences (par exemple en cosmologie). Le livre donne à penser. Il montre que l'on ne peut pas, sans contradiction performative, exclure comme dénués de sens toutes les propositions qui seraient non-scientifiques, car la science repose sur des fondements non-scientifiques ! Il montre aussi qu'il est plus fructueux de s'interroger sur ces fondements et admettre que la philosophie, voire la théologie, ou même l'opposition à une théologie, peuvent jouer des rôles importants dans l'aventure scientifique.

Ce livre devrait être recommandé à des étudiants en histoire des sciences ou en théologie ou à des chercheurs qui veulent obtenir des informations claires sur les rapports

historiques et conceptuels entre science et foi chrétienne et aussi sur le développement récent des études réalisées à ce sujet.

Dominique Lambert
Université de Namur

Sciences et société

Beck (Nicolas), *En finir avec les idées reçues sur la vulgarisation scientifique* / [préface de Mathieu Vidard]. – Versailles : Éditions Quæ, 2017. – 167 p. – 1 vol. broché de 12 × 19 cm. – 19,90 €. – isbn 978-2-7592-2684-9.

Le titre est clair, le texte se veut drôle et percutant : le programme de Nicolas Beck (responsable du service de culture scientifique de l'Université de Lorraine) consiste à recenser les principaux arguments invoqués par les scientifiques pour justifier leur rejet de la vulgarisation pour ensuite les réfuter un à un. On le comprend rapidement : l'ouvrage s'adresse essentiellement à ces chercheurs récalcitrants et a pour vocation de les « convertir » à la vulgarisation scientifique — ou plutôt à la « médiation scientifique », selon la terminologie de l'auteur.

Les contre-arguments avancés par Nicolas Beck vont du constat pragmatico-cynique (« il faut pouvoir expliquer son travail à ceux qui n'y connaissent rien, car c'est souvent le cas des bailleurs de fonds ») à la déclaration idéaliste (« dans ce monde de communication, le grand public a plus que jamais besoin d'être éduqué à l'esprit critique »). Nul doute que cette diversité de points de vue pourra effectivement pousser le lecteur à remettre en question ses préjugés.

Malheureusement, la lecture intégrale d'*En finir avec les idées reçues sur la vulgarisation scientifique* se révèle assez irritante, malgré la brièveté du texte, principalement en raison d'une structure que l'on peut qualifier d'inadéquate. J'en donnerai trois exemples. D'abord, pourquoi l'auteur ne propose-t-il sa propre définition de la vulgarisation (une démarche de co-construction du savoir entre experts et grand public) que dans le dernier chapitre et non pas en ouverture du texte afin d'expliciter son point de vue ? Ensuite, pourquoi se perd-il, en milieu d'ouvrage, dans une énumération de sites internet qui serait bien plus pertinente en annexe ? Enfin, épinglons le propos tenu dans les deux premiers chapitres : d'une part, l'argument du manque de temps est fallacieux et cache un manque d'envie, voire de compétence ; d'autre part, puisque le contrat de tout chercheur mentionne l'obligation de participer à la diffusion scientifique, refuser de vulgariser revient à profiter de manière indue de l'argent public. Une telle entrée en matière ne risque-t-elle pas de décourager d'emblée les scientifiques les moins enclins à adhérer au propos de Nicolas Beck et de rendre finalement caduque son entreprise ?

Fabien Buisseret
Haute école Louvain-en-Hainaut

Mathématiques

Lockhart (Paul), *Arithmetic*. – Cambridge (MA) ; London : Harvard University Press, 2017. – vii, 223 p. – 1 vol. relié de 14,5 × 22 cm. – 22,95 $. – isbn 978-0-674-97223-0.

Pour le mathématicien, un nombre et ce qu'un nombre fait, n'en font qu'un. Par exemple, si l'on ajoute le nombre zéro à un nombre A, le résultat est A. Cette opération tient lieu de définition de zéro. Il ne convient donc pas de s'empêtrer dans les possibles représentations de « rien » dont on revêt, parfois, le nombre zéro. Tel semble être l'esprit de cet ouvrage alerte et précis. Il va droit au but, c'est-à-dire montrer à partir des éléments comment les symboles et les systèmes de notation ont partie liée avec les nombres et leurs opérations. Et, en premier lieu, avec ce que compter veut dire. L'auteur de manière fort déliée expose l'art de compter à travers les âges. On s'aperçoit très rapidement que compter et conter vont de pair. D'autre part, Lockhart fait, à l'occasion, un bel usage de la symétrie. Si l'on place les entiers positifs et négatifs sur une droite et un miroir au point zéro, multiplier par un nombre négatif correspond à une réflexion qui envoie le nombre résultant de cette opération de l'autre côté du miroir. Ainsi s'éclaire un des « mystères » des tous premiers cours d'arithmétique. Il n'est pas hors de propos de rappeler ce qu'il advint à l'élève Stendhal, étudiant à Grenoble. « Suivant moi, l'hypocrisie était impossible en mathématiques… Que devins-je quand je m'aperçus que personne ne pouvait m'expliquer comment il se faisait que moins par moins donne plus ? » (Stendhal, *Œuvres intimes II*, édit. V. del Litto, Gallimard, Paris, 1982, p. 853). Bref, ce livre apprend à « tisser des symboles » et suggère ce que l'auteur a, par ailleurs, écrit. « La Mathématique est la Musique de la Raison ». Ce n'est pas peu dire.

Godofredo Iommi Amunátegui
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

Delahaye (Jean-Paul), *Les mathématiques se plient au jeu : du poker à l'origami, 20 enquêtes ludiques*. – Paris : Belin-Pour La Science, 2017. – 183 p. – (Bibliothèque scientifique). – 1 vol. broché de 18,5 × 24,5 cm. – 24,00 €. – isbn 978-2-410-00485-4.

Voici un livre qui étonnera ceux qui pensent que les mathématiques ne constituent pas une activité ludique, mais aussi ceux qui s'imaginent que le jeu est une distraction qui ne peut pas se révéler utile dans des applications "sérieuses" !

Il n'est pas aisé de résumé ce livre extrêmement intéressant et richement illustré. Disons que le lecteur trouvera une description pédagogique d'une foule de problèmes mathématiques profonds et féconds issus des jeux de cartes ou des tours de magie utilisant celles-ci. Il y verra aussi ce que le mathématicien peut découvrir en jouant au dé, à pile ou face, aux dames, au sudoku, ou en observant minutieusement l'art du pliage qu'est l'origami ou encore en construisant des structures avec des allumettes.

Dans le livre on va d'étonnement en étonnement, et on est très vite pris dans ce va-et-vient entre amusement, éblouissement et réflexion profonde. On en retire aussi la conviction que les jeux manifestent aussi quelque chose de l'étonnante unité des ma-

thématiques : ainsi le jeu dit des "tours de Hanoï" offre un exemple où se rencontrent et s'unissent, objets fractals, théorie des graphes et théorie des nombres. Le livre offre aussi une description de problèmes numériques spectaculaires comme celui posé par Hans Freudenthal ou celui qui consiste à se demander où nous mène l'itération du processus consistant à multiplier les chiffres d'un nombre entier ?

On pourra découvrir également à la fin de l'ouvrage une contribution très intéressante montrant que l'humain en jouant avec des représentations visuelles de structures comme des protéines ou des séquences d'ADN peut obtenir des résultats supérieurs à ceux des algorithmes en ce qui concerne les problèmes très compliqués de repliement (folding) des protéines ou des alignements des séquences génétiques (qui intéressent énormément et les médecins et les biologistes qui étudient l'évolution). D'où l'utilité de recourir au jeu pour trouver des solutions de problèmes scientifiques complexes.

Ce livre est à la fois beau et profond. Je ne peux que le recommander à ceux qui pensent que les mathématiciens ne s'amusent pas et aux mathématiciens qui veulent s'amuser encore plus !

Dominique Lambert
Université de Namur

Astronomie

Lequeux (James) - Encrenaz (Thérèse) - Casoli (Fabienne), *La révolution des exoplanètes*. – Les Ulis : EDP Sciences, 2017. – xi, 213 p. – (Une introduction à). – 1 vol. broché de 17 × 24 cm. – 29,00 €. – isbn 978-2-7598-2111-2.

La collection « Une introduction à… » d'EDP Sciences se propose de faire connaître à un large public les avancées les plus récentes de la science. Les ouvrages (en français) sont rédigés de façon simple et pédagogique par des experts des différents domaines. Cette description s'applique à la lettre au présent volume, consacré aux exoplanètes.

Il s'agit bien d'une révolution ! En effet, même si une planète autour d'un pulsar avait été découverte en 1992, c'est seulement en 1995 que Michel Mayor et Didier Queloz, de l'Université de Genève, annoncent la découverte d'une planète en orbite autour d'une étoile de type solaire, 51 Pegasus. Ceci prouve que notre système solaire n'est pas unique dans l'Univers. En outre, cette planète est très différente de celles de notre système : elle est massive (plus de la moitié de la masse de Jupiter), très proche de son étoile, avec une orbite quasi-circulaire et une période de seulement quatre jours, ce qui implique un mode de formation inhabituel ! Elle est rapidement baptisée « Jupiter chaud » et il s'avérera plus tard que ce type d'exoplanètes est assez fréquent. Il n'y a donc pas de modèle universel de planète ! Très vite le monde de l'astronomie s'emballe : une centaine d'exoplanètes autour d'étoiles de type solaire sont découvertes dans les cinq années qui suivent.

Durant cette période, la technique utilisée est la vélocimétrie, c'est-à-dire la mesure des variations de la vitesse radiale de l'étoile sous l'influence de la planète. Mais, à partir

de l'an 2000, une autre technique se développe : la méthode des transits. Celle-ci permet de détecter une exoplanète qui passe devant son étoile (comme Vénus devant le Soleil) par la petite diminution de la lumière de celle-ci, mesurée à chaque passage. L'effet étant minime et les télescopes terrestres ne permettant qu'une précision de l'ordre de 0,1 %, il s'avère très vite qu'il faut observer ce phénomène depuis l'espace, ce qui permet une précision de l'ordre de 10^{-4}. Ce sera l'objet de deux missions dédiées, CoRoT (CNES) et Kepler (NASA). Le résultat, obtenu en combinant vélocimétrie et transits, est une avalanche d'exoplanètes découvertes, plus de 3600 en avril 2017 !

Toutes ces informations proviennent bien sûr de l'ouvrage de J. Lequeux et consorts. Soulignons d'abord que nos trois auteurs sont des (radio)astronomes de stature internationale, bien connus aussi pour leurs ouvrages de vulgarisation. Celui que nous analysons ici brosse un panorama très complet de la question des exoplanètes, à un niveau de sophistication technique non négligeable. Après quelques remarques historiques, les auteurs commencent par exposer en détail les différentes méthodes de détection (vélocimétrie, transits, observation directe). Ils discutent ensuite les différents types d'exoplanètes aux noms un peu exotiques : Jupiters chauds et froids, super-Terres ou exo-Neptunes. Ils passent ensuite à la formation et à l'évolution des étoiles, des disques protoplanétaires, puis des planètes elles-mêmes. Au chapitre suivant, ils étudient la nature physique des exoplanètes, avec des considérations physico-chimiques. Les derniers chapitres abordent la grande question de la vie éventuelle sur les exoplanètes et de leur exploration, voire de la communication avec d'autres civilisations. Il s'agit essentiellement du programme SETI initié par Frank Drake en 1961, dont la célèbre formule donne le nombre de planètes dans la Galaxie qui abritent une forme de vie technologiquement avancée et qui sont capables et désireuses de communiquer avec nous. Comme le disent très justement nos auteurs, c'est en quelque sorte une manière d'organiser notre ignorance ! Bref, il y a peu de chances d'avoir un résultat concret, même si la recherche continue toujours, mais sur fonds privés. L'ouvrage se conclut par quatre annexes donnant une foule de données sur les (exo)planètes et un glossaire des termes techniques.

Le plus étonnant dans ce domaine est la quantité et la variété ahurissantes de connaissances accumulées au cours de ces (presque) vingt années qui se sont écoulées depuis la découverte historique de 1995. Et les auteurs parviennent à les refléter d'une façon à la fois très pédagogique et passionnante, si bien qu'on peut qualifier leur ouvrage de petit bijou. Dès lors, toute personne un tant soit peu intéressée par l'astronomie se doit de l'acquérir au plus vite.

Jean-Pierre Antoine
Université catholique de Louvain

Sciences de la Terre

L'homme peut-il accepter ses limites ? / coordonné par Gilles Bœuf, Bernard Swynghedauw et Jean-François Toussaint ; préface de Ségolène Royal. – Versailles : Éditions

Quæ, 2017. – 192 p. – 1 vol. broché de 16 × 24 cm. – 24,50 €. – isbn 978-2-7592-2696-2.

Comme sans doute la plupart de mes collègues, je réserve les longs déplacements à l'étranger pour lire les ouvrages trop longtemps restés sur mon bureau. C'est donc (passablement) confortablement installé dans un siège d'avion que je prends connaissance du contenu de *L'homme peut-il accepter ses limites ?* Voilà bien là le symbole de toute une contradiction dans laquelle beaucoup d'entre nous se sentent pris. La force du quotidien, notre incapacité à sentir la portée de nos actes individuels et collectifs, nous plongent-ils dans l'abîme ?

Disons-le d'emblée, l'ouvrage est remarquable. Œuvre collective, il rassemble une vingtaine de textes issus d'un colloque organisé en 2014 au Collège de France. Parmi les coauteurs, on trouve des personnalités bien connues du public, d'autres qui se sont distinguées dans leur discipline propre, et enfin des figures politiques et du monde de l'industrie. Dans leur grande majorité, les intervenants présentent une contribution remarquable, usant souvent d'une rhétorique reprenant des constats scientifiques pour instruire un regard ou une opinion sur notre avenir. La première partie de l'ouvrage, intitulée « Les alertes », brosse les enjeux climatiques, la crise de la biodiversité, les effets (nombreux) de la mobilité et du transport sur notre environnement, la gestion des terres et des ressources marines. C'est la section du livre qui est la plus homogène dans sa manière de présenter les fondements scientifiques, les constats, et les leçons à tirer d'une problématique. La section suivante, « Les options possibles », est déjà plus multiforme : elle présente un exemple d'une solution « bio-inspirée » de dépollution, des regards sur l'avenir de notre approvisionnement électrique et de sa gestion numérique, et enfin une mise en perspective sceptique des projections démographiques. Nous passons alors à une section réservée aux sciences humaines intitulée « Et l'homme dans tout ça », d'où jaillit le contraste entre la vision optimiste de la représentante politique (mais néanmoins lucide et solidement ancrée dans les notions importantes de théorie politique) à la mise en garde du professeur de physiologie qui dénonce l'« excès de confiance » et notre addiction à la croissance. Les dernières contributions, qui s'intègrent dans le dernier chapitre sur « Les perspectives », forment un ensemble sans doute un peu décousu, mais qui laisse s'exprimer des pensées riches, empreintes de vies consacrées à la réflexion.

Qu'en retenir ? D'abord, nous pouvons faire cesser le mythe selon lequel les peuples se sont adaptés passivement à leur environnement. L'Homme co-évolue avec son environnement, au moins depuis 10.000 ans. L'exploitation industrielle des ressources naturelles et la découverte des énergies fossiles ont bien sûr accéléré cette dynamique. L'évolution n'a pas cessé. Dépassée par elle-même, elle s'est heurtée brutalement, par surprise écrit Coppens, aux limites des ressources disponibles. Le phénomène est aujourd'hui global. Bien que les flux économiques continuent à s'intensifier, plusieurs indices révèlent les premiers signes de stagnation dans les pays de l'OCDE : timide diminution de l'espérance de vie, pics énergétiques, reflux du bien-être... La biodiversité animale a chuté au point de parler d'extinction massive, le microbiote quant à lui s'est peut-être bien diversifié au point de faire naître de nouvelles menaces pour nos populations sédentarisées et citadines. Le contraste est saisissant : stagnation de notre produc-

tion agricole, explosion des nouvelles technologies. La dernière ne pourra cependant pas exister sans la première, même sur une Terre « anthropomorphisée », soumise à une nouvelle dynamique humaine. C'est à la naissance, à la fois dangereuse et prometteuse, d'une dynamique éco-humaine que nous assistons, mi-passifs, mi-enthousiastes, mi-inconscients. Cela peut mal finir. Cela va vraisemblablement mal finir. La nature, et en son sein la nature humaine, a cependant plus d'une fois déjoué les prédictions. Le monde des possibles est plus grand que le monde des probables.

On regrettera peut-être que l'un ou l'autre auteur n'ait pas su s'adapter à la thématique de l'ouvrage et ait ressassé un message déjà entendu ailleurs. Il n'y a là, cependant, pas de quoi ternir l'intérêt de ce livre que je n'hésiterai pas à recommander à tous mes collègues, de toutes les disciplines,... pour leurs longs voyages en avion.

Michel Crucifix
Université catholique de Louvain

Un défi pour la planète : les objectifs de développement durable en débat / sous la direction de Patrick Caron et Jean-Marc Châtaigner. – Marseille : IRD Éditions, 2017. – 476 p. – 1 vol. broché de 15 × 24 cm. – 35,00 €. – isbn 978-2-7099-2412-2.

Les Objectifs du Développement Durable (ODD) sont 17 objectifs mondiaux que 193 États se sont engagés à atteindre par une résolution votée en marge de l'Assemblée générale des nations unies le 25 septembre 2015. L'engagement porte sur 15 ans (2015-2030). Chacun de ces objectifs est associé à un certain nombre de cibles (*targets*) opérationnelles. Les ODD ont été adoptés pour remplacer les objectifs du millénaire, mais leur esprit est différent. Alors que ces derniers étaient résolument focalisés sur les pays en développement — en mettant en avant l'éradication de la pauvreté, l'éducation primaire, la lutte contre la mortalité infantile —, les ODD se veulent universels. Ils sont censés s'adresser à tous les pays, reconnaissant d'une certaine façon que le mode de développement des pays occidentaux n'est pas une fin en soi. En particulier, ils intègrent, pour la première fois, des recommandations à propos de la bonne gouvernance et de la lutte contre les inégalités.

Ces nouveaux engagements soulèvent de nouvelles questions. L'ouvrage *Un défi pour la planète* rassemble pas moins de 60 auteurs autour d'une petite cinquantaine de textes. La première partie, « Les ambitions d'un dialogue universel et inclusif », est transversale et aborde, précisément, la nécessaire mutation des rapports Nord-Sud pour la mise en œuvre de cet « Agenda 2030 ». Les auteurs reprennent à plusieurs occasions la genèse des ODD et l'histoire qui les lie aux autres grandes conférences et accords, tels que ceux relatifs à la lutte contre le changement climatique. Comme le notent Ndoutoum et Kiri, les ODD enclenchent une « nouvelle dynamique des négociations internationales » qui transcende le clivage classique entre le Nord et le Sud.

Les parties 2, 3 et 4 du livre passent en revue les objectifs à peu près un par un, entrecoupés par de brèves mises en perspective et « focus ». Chaque article se veut critique : il met en lumière les difficultés d'implémentation, les progrès réalisés ici ou là, et les solutions à retenir pour effectivement progresser vers les objectifs poursuivis. Les

auteurs ne se privent pas de questionner le bienfondé ou la pertinence de telle ou telle cible. Comme chaque texte est écrit par des auteurs différents, le lecteur assiste à une expérience intéressante. En effet, les 17 objectifs du développement durable se veulent un et indivisibles, et porteurs d'une « triple universalité » (Marie Duru-Bellat) : une universalité géographique, une universalité sectorielle, et enfin une universalité à travers les acteurs et les niveaux d'organisation. Inévitablement, cependant, des tensions naissent entre les objectifs. Les choix économiques à poser dans un monde aux ressources finies n'ont rien d'évident. Comme le note Sarah Marniesse, « une croissance durable et inclusive, c'est un peu comme une orange bleue... la juxtaposition de termes qui ne vont pas bien ensemble ». Certains auteurs ont donc choisi une ligne d'attaque assez directe : Gaël Giraud demande d'emblée si « l'accès de tous à l'énergie est un objectif durable ? », alors que Xavier Oudin adopte une perspective économique plus classique en entrevoyant « le travail décent et la *croissance* au cœur du développement durable ». Consommer et produire durablement, c'est donc, comme l'écrivent Stéphanie Leyoras et Alexis Bonnel, « la difficile construction de nouveaux modes de vie ». On en vient alors à la question finalement paradoxale posée par Sergie Michailof : « les objectifs du développement durable sont-ils adaptés aux pays les plus fragiles ? ». Dans des pays où la population double tous les 20 ans, les grandes agences d'aide doivent faire preuve de réalisme et la priorité doit aller vers la sécurité et la reconstruction des états, un problème finalement peu abordé par les ODD.

Ce panorama nous amène à la dernière partie de l'ouvrage : « des intentions à la réalisation de l'Agenda 2030 », écrite selon la perspective que « le fossé séparant théorie et pratique est souvent moins large en théorie qu'il ne l'est en pratique ». Les auteurs plaident pour faire des objectifs de développement durable une priorité politique, car c'est bien de politique qu'il s'agit. Cette priorité devra être menée avec lucidité, ce qui nous impose aussi de savoir identifier les « perdants de l'Agenda 2030 et anticiper leurs réactions » (Henri-Luc Thibaux). Il ne faut pas se laisser bercer par l'utopie du gagnant-gagnant : des rapports de force sont en jeu. Thibaux poursuit : les objectifs du développement durable doivent devenir un enjeu de débat social. Cette observation nous renvoie une fois de plus au questionnement quant à la nature universelle des objectifs : un débat suppose une société libre, stabilisée, pacifiée. L'organisation économique, financière, militaire et géostratégique dans laquelle nous vivons exclut des centaines de millions d'individus de ces conditions.

Qu'en penser finalement ? En écrivant ce compte rendu, j'ai partiellement échappé à mon devoir de critique de livre pour me laisser absorber par les espoirs, les doutes et les questionnements profonds soulevés par les objectifs du développement durable, cette utopie ambitieuse équipée de 169 cibles et de 230 indicateurs et votée par les Nations Unies. Une utopie qui se trouve, ou devrait se trouver, à l'agenda politique de 193 États, mais dont on sait qu'elle ne pourrait se réaliser sans un profond changement de l'organisation sociale et institutionnelle. Elle ne pourra émerger sans en rééchelonnement profond de l'ordre des valeurs, sans une remise en question de la notion même de progrès et de bonheur humain. J'ai abordé cet ouvrage sans connaître grand-chose des objectifs

du développement durable. J'en sors armé d'éclairages factuels, critiques et documentés faisant face à de nombreuses questions. Le livre a rempli sa mission.

Michel Crucifix
Université catholique de Louvain

Sciences paramédicales

Postiaux (Guy), *Kinésithérapie et bruits respiratoires : nouveau paradigme : nourrisson, enfant, adulte*. – Louvain-la-Neuve : De Boeck Supérieur, 2016. – xx, 465 p. – 1 vol. broché de 21 × 27 cm. – 75,00 €. – isbn 978-2-8073-0307-2.

Kinésithérapeute belge connu et reconnu pour ses travaux sur la kinésithérapie respiratoire appliquée plus particulièrement aux nourrissons, Guy Postiaux nous offre, dans ce livre, une remise à plat de ce domaine thérapeutique grâce à une approche structurée, exhaustive et systématique.

À travers la compréhension de la biomécanique respiratoire et une meilleure utilisation du stéthoscope, cet imposant ouvrage se propose d'aider le kinésithérapeute à identifier et à interpréter la symptomatologie respiratoire pour pouvoir ensuite sélectionner un traitement adapté et efficace. Les différentes techniques de kinésithérapie respiratoire sont donc également passées en revue et critiquées avant que ne soit proposée une nouvelle nomenclature en prenant toujours la biomécanique comme support au propos tenu. Ce fil conducteur est entrecoupé de notes de pathologie et de conseils pratiques qui permettent d'assurer une lecture aérée malgré la masse des informations couvertes.

Grâce à cette structuration, le novice pourra rapidement trouver des informations utiles sur une pathologie spécifique, sur les techniques, mais également sur des questions et problématiques qui peuvent se poser lors d'un traitement (mécanique des pleurs, intérêt de se moucher ou de renifler, etc.). Le dernier chapitre, lui, apporte une aide précieuse sur la construction d'une séance grâce à un arbre décisionnel. Quant aux praticiens plus expérimentés, ils pourront se plonger sans retenue dans la minutie des explications données pour chacun des phénomènes biomécaniques abordés, et toujours appuyées par des schémas et des graphiques, ou dans l'imposante bibliographie présente à la fin de chaque chapitre.

Si elle contente tout lecteur intéressé par la kinésithérapie respiratoire, cette construction claire donne également à l'auteur la liberté de pouvoir aborder, à travers son sujet initial, des problématiques plus générales comme l'omnipotence de l'EBM dans l'évolution de notre profession et ses limites : la tendance intrinsèque des RCT à la simplification, l'hégémonie de l'anglais dans les publications médicales, ou la place du raisonnement clinique à propos duquel l'auteur plaide pour que le kinésithérapeute se limite à un bilan symptomatologique et laisse le rôle diagnostic aux médecins.

Le lecteur ne partagera probablement pas toujours les thèses et opinions défendues dans cet ouvrage — elles sont souvent clivantes et parfois à contre-courant de l'avis général —, mais à aucun moment, il ne pourra leur reprocher de ne pas être bien ar-

gumentées. On saluera d'ailleurs l'effort mis en œuvre pour revaloriser le rôle de la kinésithérapie respiratoire dans la bronchiolite du nourrisson qui avait été fortement remis en cause suite à une publication de la Cochrane : bien que celle-ci fut par la suite amendée dans le sens d'une modération de ses conclusions initiales, elle exerce toujours une influence délétère surtout dans les pays anglo-saxons.

Malgré ce travail bien documenté et argumenté qui s'avère indispensable à tout thérapeute un tant soit peu intéressé par la kinésithérapie respiratoire, certaines parties de cette discipline, comme la bronchiolite du nourrisson ou les techniques et nomenclatures, risquent de se développer difficilement dans un contexte où, comme dans les pays francophones, la tendance est au déremboursement des traitements. Quant aux pays anglophones, où l'EBM est le plus souvent brandi comme un argument d'autorité permettant d'asséner une vérité plutôt que de faire avancer le débat, la tâche est encore plus ardue : introduire de nouvelles techniques et une nouvelle nomenclature semble pratiquement impossible si celles-ci n'ont pas, au préalable, triomphé des critères de l'EBM. À ces difficultés, s'ajoutent encore des limites culturelles : dans de tels pays, voir un enfant pleurer pendant un traitement est souvent inimaginable, de sorte que certaines techniques francophones sont considérées comme « *physical harassment* » et, de facto, inutilisables !

Virgil Bru
Haute école Louvain-en-Hainaut

Riché (Denis), *L'épinutrition du sportif... ou comment le contenu de notre assiette module l'expression de nos gènes... et nos aptitudes physiques* / préface du Dr Philippe Raymond. – Louvain-la-Neuve : De Boeck Supérieur, 2017. – ix, 196 p. – 1 vol. relié de 17 × 24 cm. – 22,00 €. – isbn 978-2-8073-0653-0.

Il faudrait se voiler la face pour imaginer que nous vivons dans le meilleur des mondes. Les générations futures seront confrontées à des défis de grande ampleur. À titre d'exemple, nous vivons une situation sanitaire alarmante : en parallèle à la diminution observée des aptitudes physiques, les cas d'obésité, d'hypofertilité, de cancers et d'allergies affichent une croissance sans précédent depuis la fin du XXe siècle. Comme l'explique si bien Denis Riché dans l'introduction de son ouvrage, une croissance rapide de tels phénomènes ne peut être expliquée ni par une hypothèse fataliste du « tout génétique » ... ni uniquement par la sédentarité et la malbouffe. En effet, c'est également par « l'influence favorable ou défavorable de facteurs environnementaux, parmi lesquels les nutriments, les antigènes et certains polluants, que nos gènes s'expriment, de manière appropriée ou non, menant à des ajustements favorables ou non à notre organisme » (p. 6). Ainsi, « les mêmes gènes ne font plus les mêmes hommes » (p. 32). Pour enrayer ces problèmes sanitaires, nous avons besoin d'une réponse globale qui précise comment l'alimentation, la pauvreté des sols, la pollution et le stress modulent l'équilibre de notre microbiote et l'expression de nos gènes, intervenant *in fine* favorablement ou défavorablement sur notre santé. C'est ce que l'auteur nomme l'*épinutrition*.

Denis Riché est docteur en nutrition humaine. Actuellement co-responsable à Poitiers du diplôme universitaire « Nutrition, micronutrition, exercice et santé », cet ancien

sportif de haut niveau nous offre ici un ouvrage contemporain et fascinant qui dépasse le cadre de la nutrition *stricto sensu*. Les 7 chapitres qui le composent nous détaillent les mécanismes par lesquels notre alimentation et notre environnement interagissent pour moduler l'équilibre de notre microbiote et l'expression de nos gènes. Chaque chapitre est illustré, en couleurs, et admirablement documenté à l'aide des travaux de recherche de l'auteur et d'une littérature récente (dont nous noterons toutefois quelques erreurs de numérotation). Bien que la technicité des textes puisse freiner le lecteur lambda, l'auteur s'efforce de rendre son discours clair et met son puzzle en place progressivement.

Ainsi, le 1er chapitre décrit les principes de la génétique indispensables pour comprendre les adaptations liées à l'entraînement présentées dans le 2e chapitre. Notons à ce sujet que l'auteur souligne les risques potentiels d'un entraînement excessif réalisé dans un environnement hostile. Le 3e chapitre est dédié au monde bactérien qui habite nos intestins, c'est-à-dire le microbiote, dont un déséquilibre peut entraîner des dérèglements lors de l'expression génétique. Le 4e chapitre est consacré à certains agresseurs potentiellement néfastes formés en présence d'oxygène, les radicaux libres, et à leurs adversaires, les anti-oxydants. Le lecteur découvrira que ces radicaux libres, quand ils sont présents en quantité raisonnable, peuvent contribuer aux processus génétiques et aux défenses immunitaires. Ces dernières constituent la thématique du 5e chapitre dans lequel un intérêt particulier est porté à la prévention des maladies qui peuvent apparaître consécutivement à un lourd programme d'entraînement. La longueur du 6e chapitre témoigne de l'importance accordée par l'auteur à un microbiote sain, considéré aujourd'hui par de nombreux chercheurs comme notre deuxième cerveau. Un dysfonctionnement de la paroi intestinale engendre ainsi de nombreux troubles clairement détaillés. Le 7e et dernier chapitre est l'aboutissement de tous les précédents. Il apporte des solutions épinutritionnelles en présentant les acteurs essentiels qui participent à un microbiote équilibré et au contrôle harmonieux de l'ensemble des fonctions de l'organisme. Données probantes à l'appui, l'auteur décline les vertus de nombreux aliments dont l'intérêt, variable d'un individu à l'autre, peut être perdu s'ils ne sont pas consommés intelligemment (de saison, bio de préférence et en provenance de circuit court). Notons enfin que l'auteur démontre l'intérêt d'un apport glucidique adéquat en cours d'activité, ce qui, à ce jour, est souvent négligé.

Cet ouvrage est remarquable. À travers le sport, l'auteur choisit un angle d'attaque qu'il maîtrise à merveille pour réveiller les consciences. Mais le sport n'est qu'un prétexte, tant et si bien qu'il ne convient pas de restreindre cet ouvrage à un public sportif. Dans la mesure où il apparaît comme un plaidoyer pour une alimentation saine et biologique, il est bien plus qu'un livre de nutrition sportive : c'est avant tout, à nos yeux, un ouvrage qui traite de l'expression de nos gènes et l'auteur évoque l'alimentation comme un facteur influençant cette expression, au même titre que la pollution, la pauvreté des sols, l'asepsie à outrance ou encore le stress. Avec une argumentation pointilleuse que nous ne pourrions remettre en cause, l'auteur arrive à nous convaincre, si nous ne l'étions pas encore, du rôle prépondérant joué par l'environnement sur notre santé.

Denis Riché profite de la conclusion de cet ouvrage passionnant pour envoyer quelques pics au monde politique qu'il estime trop passif devant l'ampleur d'un phéno-

mène jugé en partie irréversible. Alors que certaines nations tardent à réagir, voire font machine arrière sous le dictat des enjeux économiques, le monde scientifique nous éclaire de plus en plus sur les méfaits liés à la pollution. Pour l'auteur, les dommages « transgénérationnels » causés, entre autres, par cette pollution sont peut-être irréparables. Et pour tenter de sortir les prochaines générations de l'impasse sanitaire vers laquelle nous nous dirigeons, il juge qu'« il est vraiment temps d'agir et de réagir ! » (p. 196).

Mikaël Scohier
Haute école Louvain-en-Hainaut

Divers

Crommelinck (Marc) - Lebrun (Jean-Pierre), *Un cerveau pensant : entre plasticité et stabilité. Psychanalyse et neurosciences*. – Toulouse : Éditions érès, 2017. – 248 p. – (Humus : entretiens). – 1 vol. broché de 11 × 17 cm. – 17,00 €. – isbn 978-2-7492-5641-2.

Voici un petit livre à la fois passionnant et facile à lire ! Je le recommande donc vivement. Jean-Pierre Lebrun, psychiatre et psychanalyste, y interroge son ami Marc Crommelinck. Ce dernier est docteur en psychologie et a enseigné les neurosciences et la psychologie à l'Université de Louvain pendant toute sa carrière. Il a également assuré des cours d'épistémologie. L'ouvrage est divisé en cinq chapitres dont je me propose de synthétiser ici les éléments qui m'ont paru les plus percutants.

Le premier chapitre, intitulé « Quelle épistémologie pour les neurosciences ? », explique le dualisme de Descartes, puis le monisme matérialiste de Spinoza. M. Crommelinck prend alors appui sur l'affirmation de Lakatos selon laquelle toute science développe en son sein un noyau dur métaphysique, accepté comme tel, et il affirme que, pour les sciences cognitives, ce noyau dur est le monisme matérialiste sur le plan ontologique. Mais il ajoute à cela la nécessité d'un pluralisme des approches qui s'oppose au réductionnisme. Quant à J.-P. Lebrun, il précise la place de sa discipline : « On a l'habitude — la mauvaise habitude — d'opposer sciences et psychanalyse [...]. C'est bien plutôt leur articulation qu'il s'agit de penser. On peut en effet soutenir que la psychanalyse est une démarche analogue à celle de la science, mais qui se soucie des caractéristiques de la singularité » (pp. 35-36).

Le deuxième chapitre, particulièrement intéressant, a pour thème « Le concept d'émergence ». Selon M. Crommelinck, il s'agit d'une pièce-clé pour articuler monisme ontologique et pluralisme épistémologique. Le neuroscientifique explique que « de manière intuitive, la notion d'émergence se réfère à l'existence, dans le monde tel qu'il se manifeste, d'ensembles de propriétés attribuées à des formes d'organisation se complexifiant dans le temps » (p. 42). Il distingue, par ailleurs, une triple dimension à l'émergence : la nouveauté, la non-prédictibilité et l'irréductibilité. Il illustre cette dernière dimension en prenant le cas de l'émergence de la conscience : « … ce n'est pas dans la matérialité des états cérébraux, processus exclusivement biophysiques et biochimiques en interaction, que je pourrai lire adéquatement ce que sont les processus conscients. La conscience ne pouvant s'attester que de l'expérience intime de l'être conscient » (p. 46).

Puis il aborde la question de l'émergence du langage : « Avec la question du langage, nous mettons donc très précisément le doigt sur les deux voies qui peuvent être prises une fois que l'on a reconnu la perspective moniste : une première qui déduit purement et simplement le langage de l'évolution ; une seconde qui reconnaît au langage une spécificité qui lui est propre et dès lors demande une pluralité d'approches pour qu'il en soit rendu compte » (p. 59). Le dialogue se poursuit avec le thème de l'exception. Le psychanalyste fait remarquer que le mythe du père d'exception était congruent avec un lien social pyramidal organisé sur le modèle patriarcal ou religieux et que c'est aussi de cette façon qu'était pensé le statut de l'homme dans le règne animal (p. 85). Le neuroscientifique note que « dans le dualisme cartésien, ce *surcroît* […] était pensé comme une propriété émergente ontologique. Il est important d'insister sur cette distinction entre *émergence ontologique* et *émergence épistémique.* La première réinstaure le dualisme que nous avons récusé, la seconde rend possible le pluralisme épistémique » (p. 98). Et il poursuit en faisant remarquer que l'humain n'échappe en aucune façon au *réel biologique* « et pourtant au sein de cette biosphère, se creuse chez *homo sapiens* un espace nouveau, émergeant comme un bassin attracteur, celui du langage et de la culture, que l'on pourrait qualifier de *sémiosphère*, c'est-à-dire l'ensemble des signes matériels, concrets, porteurs de sens, créés par lui, et dont il est en retour le produit » (p. 100). Je me permets de remarquer ici le parallèle à faire avec le concept de *noosphère,* jadis inventé par P. Teilhard de Chardin.

Le chapitre trois concerne les causalités ascendante et descendante. La première peut être définie de la façon suivante : « les propriétés du microniveau sont des conditions nécessaires mais non suffisantes pour la mise en place des propriétés du macroniveau » (p. 117). Pour illustrer cette causalité dans le cadre des neurosciences, M. Crommelinck donne divers exemples notamment tirés de données cliniques et des compétences mentales et comportementales des nouveau-nés. Puis, il aborde le concept de culture qui est un pivot dans son argumentation sur les causalités. Il explique en effet : « la culture selon mon point de vue est la résultante de ces causalités ascendantes mais aussi, avec le langage, représente un levier très important de la mise en œuvre de la causalité descendante » (p. 132). Et il poursuit : « Le langage et la culture seraient susceptibles, en quelque sorte de sculpter progressivement le cerveau humain qui leur a donné naissance » (p. 139). Et il conclut : « Donc la causalité descendante part du macroniveau vers le microniveau et agit sur ce dernier grâce à la plasticité cérébrale » (p. 141). Par ailleurs, il note : « ces deux lignes de causalités […] sont en interaction au cours de périodes critiques du développement. Il y aura donc des *fenêtres temporelles* au cours desquelles il sera possible d'acquérir telle ou telle aptitude » (p. 144).

Le chapitre quatre s'intitule « Le rapport du corps au langage ». Y est souligné le fait qu'une spécificité de l'humain est d'être génétiquement programmé à l'apprentissage d'une langue. M. Crommelinck y développe aussi la théorie du *recyclage* d'une carte cérébrale proposée par S. Dehaene : le module 37 initialement programmé pour le traitement des formes visuelles et plus particulièrement pour les visages va être réaffecté à la lecture (p. 191). C'est bien le langage qui impose son fonctionnement au processus de recyclage : en donnant le feu vert pour qu'il puisse s'amorcer, et aussi parce qu'il use de sa dominance pour loger les mécanismes de lecture dans sa sphère d'influence (p. 192).

Je ne m'attarderai pas à décrire le dernier chapitre qui a pour titre « L'avènement du numérique » car, à mon sens, il est le moins original du livre. Je terminerai par un petit bémol : la formule « dialoguée » adoptée dans ce livre en facilite la lecture mais nuit, me semble-t-il, à la structuration des idées.

Marie d'Udekem-Gevers
Université de Namur

Tort (Patrick), *Théorie du sacrifice : sélection sexuelle et naissance de la morale*. – Paris : Éditions Belin, 2017. – 225 p. – Un vol. broché de 15 x 22 cm. – 19,00 €. – isbn 978-2-410-01004-6.

Philosophe, linguiste, historien et théoricien des sciences, Patrick Tort a fondé et dirige l'Institut Charles Darwin International, qui s'est actuellement attelé à la tâche de réaliser une traduction française des *Œuvres complètes de Darwin*. Il a aussi dirigé le *Dictionnaire du darwinisme et de l'évolution*, paru en 1996.

Dès 1980, Tort formule son concept-clé, celui d'« effet réversif de l'évolution », qu'il appellera plus tard aussi « effet Darwin »[1] (car il s'agit de son interprétation personnelle de l'œuvre de Darwin) : « la sélection naturelle sélectionne la civilisation, qui s'oppose à la sélection naturelle ». Dans le présent livre, il le développe à nouveau (par ex., pp. 136-137).

Mais commençons par remarquer que l'illustration de couverture représente un crucifix dont la tête du crucifié est remplacée par un imposant massacre de cerf. L'auteur s'en explique : « La Croix sera désormais le symbole ultime du sacrifice suprême, l'auto-sacrifice de Dieu consenti pour l'amour des Hommes. […] À chaque messe, le communiant assimilera symboliquement une portion du corps du Christ […] dans la pure règle d'un repas totémique […]. Ce qui garantit la pérennité d'un *Eros* fusionnel toujours en quête d'une inachevable satisfaction. L'invincible attractivité du corps du supplicié […] deviendra ainsi le moteur permanent du désir chrétien, image sublimée de la préférence accordée dans le monde animal à celui qui par amour s'est alourdi, tel le Cerf de ses bois, de la plus forte entrave à sa propre survie » (pp. 109-110). Je laisse le lecteur juger lui-même de cette affirmation qui est au cœur du livre.

Venons-en à l'analyse du contenu. Le premier chapitre, touffu et comportant de nombreuses digressions, s'intitule « Choix d'objet, passion, amour et sacrifice dans le monde animal ». Tort s'y propose de mettre en évidence le lien entre sélection sexuelle et sacrifice chez les animaux. Il rapporte des cas (faisans Argus, cervidés, etc.), pour la plupart bien connus des zoologistes, où les mâles « dévoilent ou revêtent des attributs remarquables au sein de séquence de séduction » (p. 9). Et il fait remarquer, à la suite de Darwin, que « la demande d'élection en matière amoureuse et les comportements de séduction qui lui sont liés impliquent toujours un risque de mort régulièrement assumé par l'initiateur de la quête » (p. 15). Le deuxième chapitre a pour titre « Héroïsation /

1. Cf. P. Tort, *L'effet Darwin : Sélection naturelle et naissance de la civilisation*, Paris, Éditions du Seuil, 2008.

Érotisation ». Il est assez court, mais la pensée de l'auteur y est toujours aussi tortueuse, me semble-t-il. En bref, Tort tente d'y souligner que tout héros humain (dans quel que domaine que ce soit) est « celui qui est capable de sacrifier sa vie pour atteindre l'objet de sa quête » (p. 75). Il développe ensuite *sa* théorie du sacrifice, puis se lance dans une longue tirade sur le sacrifice dans la bible puis dans le christianisme. Quant au dernier chapitre, il a pour thème : « Sacrifice de soi et fondements naturels de l'éthique ». L'auteur y explique : « Il existe, en accord avec la fulgurante intuition de Darwin, une base naturelle de tous les comportements "moraux" et nous l'avons identifiée dans la *propension auto-sacrificielle* du candidat à la procréation » (p. 111). Il ajoute que la morale relève « d'une genèse empirique, et à ce titre scientifiquement analysable, et [qu'] elle possède une double racine affective et rationnelle, la rationalité étant seconde dans son émergence » (p. 122). Et Tort poursuit encore : « dans l'histoire évolutive de l'espèce humaine, la sélection naturelle sélectionne les instincts sociaux, favorables à la constitution de communautés de plus en plus solidaires dans leur confrontation avec le milieu [...]. Le développement sélectionné de ces instincts sociaux à l'intérieur du groupe s'y accompagne d'un accroissement corrélé de l'instinct ou sentiment de *sympathie* et des capacités rationnelles. Cette augmentation conjointe et interagissante du relationnel (instance affective) et du rationnel (instance cognitive) engendre la *civilisation*, qui est chez Darwin le mouvement par lequel ces deux instances coordonnées produisent à la fois des habitudes de conduite et des règles de morale et de droit » (p. 137). Et il ajoute : « Si l'on admet, chez l'Homme, la prééminence de l'altruisme au cœur de ce qu'on appelle la morale, et si l'on envisage sur le mode kantien le sacrifice de soi comme la forme la plus élevée de l'action morale elle-même, il devient évident que, chez Darwin, c'est au sein du processus de sélection sexuelle qu'il convient de rechercher les origines morales du comportement humain » (pp. 147-148). Quant à la conclusion de l'ouvrage, elle me paraît étrange car, sauf dans les quelques lignes de son premier et de son dernier paragraphes, elle ne synthétise pas ce qui a été énoncé dans le livre. Elle explique le rapport de Darwin à la philosophie, en général, et à Kant, en particulier. Elle évoque aussi la position de Freud dans *Totem et Tabou*.

Au final, ce livre m'a intéressée, ce qui ne m'empêche pas de devoir formuler plusieurs regrets. Tout d'abord, je tiens à souligner que Tort y poursuit son habitude de procéder à une multitude d'autocitations. Et ceci est aggravé, me semble-t-il, par le fait que l'auteur ne cite, en revanche, pratiquement pas d'ouvrages scientifiques récents : ainsi, par exemple, il néglige les apports actuels des *neurosciences* — alors qu'il évoque (pp. 71-72) la conscience et en donne sa propre définition — ; il en va de même pour ceux, évoqués évasivement (p. 219), de l'*anthropologie* sur le sacrifice — alors qu'il développe sa propre théorie à ce sujet (pp. 77-78). Et quand, par ailleurs, il fait allusion à la *sociobiologie* et à l'*éthologie* (pp. 45-46), il le fait de façon assez agressive et condescendante, en se référant à des publications très anciennes (1975). Dès lors, j'inviterais volontiers toute personne concernée par le thème de l'histoire naturelle de la morale à lire aussi le livre, daté de fin 2016, du psychologue cognitif et développemental américain Michael Tomasello : *A Natural History of Human Morality* (Harvard University Press). Cet ouvrage est incontournable, car il se base fondamentalement sur des données empiriques

nouvelles à propos de chimpanzés et de jeunes enfants et non sur une analyse de textes anciens, fussent-ils même d'un auteur génial comme Darwin.

Marie d'Udekem-Gevers
Université de Namur

Ouvrages reçus à la rédaction

Comprendre la paralysie cérébrale et les troubles associés : évaluations et traitements / publié sous la direction de Danièle Truscelli. – 2e édition. – Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson, 2017. – xxi, 452 + [11] p. – 1 vol. broché de 17 × 24 cm. – 54,90 €. – isbn 978-2-294-74530-0.

L'adaptation au changement climatique : une question de sociétés / sous la direction d'Agathe Euzen, Bettina Laville et Stéphanie Thiébault ; [avant-propos de Alain Fuchs] ; [préfaces de Bettina Laville et Monique Barbut]. – Paris : CNRS Éditions, 2017. – 409 p. – 1 vol. broché de 15 × 23 cm. – 24,00 €. – isbn 978-2-271-09482-7.

L'homme peut-il accepter ses limites ? / coordonné par Gilles Bœuf, Bernard Swynghedauw et Jean-François Toussaint; préface de Ségolène Royal. – Versailles : Éditions Quæ, 2017. – 192 p. – 1 vol. broché de 16 × 24 cm. – 24,50 €. – isbn 978-2-7592-2696-2.

L'océan à découvert / sous la direction de Agathe Euzen, Françoise Gaill, Denis Lacroix, Philippe Cury. – Paris : CNRS éditions, 2017. – 321 p. – (À découvert). – 1 vol. broché de 19 × 26 cm. – 39,00 €. – isbn 978-2-271-11652-9.

La causalité dans les sciences biologiques et médicales : faut-il connaître les causes pour comprendre et intervenir ? / sous la direction de Claude Debru et Michel Le Moal. – Les Ulis : EDP Sciences, 2017. – 128 p. – (Les ateliers de l'Académie). – 1 vol. broché de 16 × 24 cm. – 18,00 €. – isbn 978-2-7598-1716-0.

Les modèles conceptuels en ergothérapie : introduction aux concepts fondamentaux / sous la direction de Marie-Chantal Morel-Bracq; [préface de Hélène Hernandez]. – 2e édition. – Louvain-la-Neuve : De Boeck Supérieur, 2017. – ix, 261 p. – 1 vol. broché de 16 × 24 cm. – 29,00 €. – isbn 978-2-35327-377-5.

Un défi pour la planète : les objectifs de développement durable en débat / sous la direction de Patrick Caron et Jean-Marc Châtaigner. – Marseille : IRD Éditions, 2017. – 476 p. – 1 vol. broché de 15 × 24 cm. – 35,00 €. – isbn 978-2-7099-2412-2.

Arnould (Jacques), *Turbulences dans l'univers : Dieu, les extraterrestres et nous*. – Paris : Éditions Albin Michel, 2017. – 281 p. – 1 vol. broché de 14,5 × 22,5 cm. – 19,50 €. – isbn 978-2-226-32618-8.

Baggio (Stéphanie) - Rothen (Stéphane) - Deline (Stéphane), *Statistique descriptive*. – Louvain-la-Neuve : De Boeck Supérieur, 2017. – 220 p. – (Sup en poche). – 1 vol. broché de 15 × 21 cm. – 16,00 €. – isbn 978-2-8073-1491-7.

Baudet (Jean C.), *Histoire de la chimie*. – Louvain-la-Neuve : De Boeck Supérieur, 2017. – viii, 354 p. – 1 vol. broché de 17 × 24 cm. – 32,00 €. – isbn 978-2-8073-0692-9.

Beck (Nicolas), *En finir avec les idées reçues sur la vulgarisation scientifique* / [préface de Mathieu Vidard]. – Versailles : Éditions Quæ, 2017. – 167 p. – 1 vol. broché de 12 × 19 cm. – 19,90 €. – isbn 978-2-7592-2684-9.

Benasayag (Miguel), *La singularité du vivant* / préface de Jean-Michel Besnier; prolongement de Giuseppe Longo. – Paris : Éditions Le Pommier, 2017. – 181 p. – (Manifeste). – 1 vol. broché de 13,5 × 20 cm. – 17,00 €. – isbn 978-2-7465-1092-0.

Biémont (Émile), *L'arc-en-ciel : mythes, art, science et histoire* / préface d'Hervé Hasquin. – Bruxelles : Académie royale de Belgique, 2017. – 164 p. – (Mémoire de la Classe des sciences ; collection in-8°, 4e série, tome 8, n°2115). – 1 vol. broché de 17 × 24 cm. – 15,00. – isbn 978-2-8031-0575-5.

Blay (Michel), *Critique de l'histoire des sciences*. – Paris : CNRS éditions, 2017. – 301 p. – 1 vol. broché de 14 × 20,5 cm. – 22,00 €. – isbn 978-2-271-09184-0.

Blay (Michel), *Relire « Des révolutions des orbes célestes » de Nicolas Copernic*. – Paris; Pékin ; Philadelphie : Nuvis éditions, 2017. – 150 p. – (Adverso fulmine). – 1 vol. broché de 15,5 × 24 cm. – 25,00 €. – isbn 978-2-36367-083-0.

Cantemir (Démètre), *L'image infigurable de la science sacro-sainte* / ouvrage publié sous la direction de Vlad Alexandrescu ; édition critique de Dan Sluşanschi et Liviu Stroia ; traduction, introduction, glossaire, notes, index et bibliographie de Vlad Alexandrescu. – Paris : Honoré Champion éditeur, 2016. – 748 p. – (Sources classiques ; 122). – 1 vol. broché de 15 × 22 cm. – 110,00 €. – isbn 978-2-7453-2957-8.

Collins (Harry M.), *Gravity's kiss : the detection of gravitational waves*. – Cambridge (MA) ; London : The MIT Press, 2017. – vi, 408 p. – 1 vol. relié de 16 × 23,5 cm. – 29,00 €. – isbn 978-0-262-03618-4.

Cottet-Émard (François), *Toutes les maths pour bien commencer sa licence*. – Louvain-la-Neuve : De Boeck Supérieur, 2017. – v, 249 p. – (Sup en poche). – 1 vol. broché de 15 × 21 cm. – 16,00 €. – isbn 978-2-8073-1012-4.

de Beaune (Sophie A.) - Balzeau (Antoine), *Notre préhistoire : la grande aventure de la famille humaine*. – Paris : Éditions Belin, 2016. – 207 p. – 1 vol. broché de 28 × 23 cm. – 29,90 €. – isbn 978-2-7011-9789-0.

Dowek (Gilles), *Vivre, aimer, voter en ligne, et autres chroniques numériques*. – Paris : Éditions Le Pommier, 2017. – 175 p. – (Impromptus). – 1 vol. broché de 12 × 17 cm. – 12,00 €. – isbn 978-2-7465-1623-6.

Drahos (Alexis), *L'astronomie dans l'art de la Renaissance à nos jours*. – Paris : Éditions Citadelles & Mazenod, 2014. – 183 p. – 1 vol. relié de 28 × 24 cm. – 59,00 €. – isbn 9782-85088-605-8.

Dufour (Michel) - Colné (Patrick) - Barsi (Stéphane), *Masso-kinésithérapie et thérapie manuelle pratiques*. – Tome 1 : *Bases fondamentales, applications et techniques*. – Tome 2 : *Applications régionales : Membre supérieur. Tête et tronc supérieur*. – Tome 3 : *Applications régionales : Membre inférieur. Tronc inférieur* / avec la collaboration de Gilles Barette, Jean-Pierre Bleton, Martial Delaire, Xavier Dufour, Jean-Louis Estrade, Michel Gedda, Stéphane Kirscher, Virginie Sauvageot, Claude Shang, Michèle Viel et François Zimmermann. – [2e édition]. – Issy-les-Moulineaux : Elsevier Masson, 2017. – 333, 408, 378 p. – 3 vol. brochés de 21 × 27 cm. – 103,00 €. – isbn 978-2-294-75978-9.

Esfeld (Michael), *Philosophie des sciences : une introduction*. – 3e édition entièrement revue. – Lausanne : Presses polytechniques et universitaires romandes, 2017. – x, 296 p. – 1 vol. broché de 15 × 22,5 cm. – 23,22 €. – isbn 978-2-88915-221-6.

Fierens (Christian) - Pierobon (Frank), *Les pièges du réalisme : Kant et Lacan*. – Louvain-la-Neuve : Éditions EME, 2017. – 322 p. – (Lire en psychanalyse). – 1 vol. broché de 15 × 24 cm. – 30,40 €. – isbn 978-2-8066-3607-2.

Forti (Augusto), *Faust : le diable et la science* / traduit de l'italien par Patrick Vighetti ; préface de Dominique Lecourt. – Paris : Presses universitaires de France, 2017. – 128 p. – (Science, histoire et société). – 1 vol. broché de 12,5 × 19 cm. – 16,00 €. – isbn 978-2-13-078998-7.

Galluzzi (Paolo), *The Lynx and the telescope : the parallel worlds of Federico Cesi and Galileo* / translated by Peter Mason. – Leiden ; Boston : Brill, 2017. – xiv, 521 p. – (Scientific and learned cultures and their institutions ; 21). – 1 vol. broché. – 139,00 €. – isbn 978-90-04-34231-6.

Josso (Nathalie), *Le sexe des anges : une histoire d'hormones* / illustrations Martine Netter. – Les Ulis : EDP Sciences, 2017. – vii, 132 p. – 1 vol. broché de 17 × 24 cm. – 20,00 €. – isbn 978-2-7598-2080-1.

Kragh (Helge S.), *Entropic creation : religious contexts of thermodynamics and cosmology*. – London ; New York : Routledge, 2016. – 272 p. – (Science, technology and culture, 1700-1945). – 1 vol. broché de 15,5 × 23,5 cm. – £37.99. – isbn 978-1-138-26183-9.

Lambert (Dominique), *The atom of the Universe : the life and work of Georges Lemaitre* / préface by Phillip James Edwin Peebles ; translated by Luc Ampleman ; edited by Karl Van Bibber. – 2nd edition. – Kraków : Copernicus Center Press, 2016. – 464 p. + xix p. – 1 vol. broché de 16 × 24 cm. – 44,00 €. – isbn 978-83-7886-225-3.

Landes (David S.), *L'heure qu'il est : les horloges, la mesure du temps et la formation du monde moderne* / traduit de l'anglais par Pierre-Emmanuel Dauzat et Louis Évrard. – Paris : Société d'édition « Les Belles Lettres », 2017. – 632 p. – (Histoire ; 137). – 1 vol. broché de 15 × 21,5 cm. – 29,50 €. – isbn 978-2-251-44657-8.

Lequeux (James) - Encrenaz (Thérèse) - Casoli (Fabienne), *La révolution des exoplanètes*. – Les Ulis : EDP Sciences, 2017. – xi, 213 p. – (Une introduction à). – 1 vol. broché de 17 × 24 cm. – 29,00 €. – isbn 978-2-7598-2111-2.

Lévêque (Christian), *La biodiversité : avec ou sans l'homme ? Réflexions d'un écologue sur la protection de la nature en France*. – Versailles : Éditions Quæ, 2017. – 127 p. – 1 vol. broché de 16 x 24 cm. – 20,00 €. – isbn 978-2-7592-2687-0.

Livi (Roberto) - Politi (Paolo), *Nonequilibrium statistical physics : a modern perspective*. – Cambridge (UK) ; New York (NY) : Cambridge University Press, 2017. – xvii, 420 p. – 1 vol. relié de 19 × 25 cm. – 54,99 £. – isbn 978-1-107-04954-3.

Lockhart (Paul), *Arithmetic*. – Cambridge (MA) ; London : Harvard University Press, 2017. – vii, 223 p. – 1 vol. relié de 14,5 × 22 cm. – 22,95 $. – isbn 978-0-674-97223-0.

Mawhin (Jean), *Les modèles mathématiques sont-ils des modèles à suivre ?*. – Bruxelles : Académie royale de Belgique, 2017. – 109 p. – (L'Académie en poche ; 97). – 1 vol. broché de 11 × 18 cm. – 7,00 €. – isbn 978-2-8031-0600-4.

Misner (Charles W.) - Thorne (Kip S.) - Wheeler (John Archibald), *Gravitation* / with a new foreword by David I. Kaiser and a new preface by Charles W. Misner and Kip S. Thorne. – Princeton ; Oxford : Princeton University Press, 2017. – lii, 1279 p. – 1 vol. relié de 21 × 26 cm. – $60.00. – isbn 978-0-691-17779-3.

Porter (Theodore M.), *La confiance dans les chiffres : la recherche de l'objectivité dans la science et dans la vie publique* / traduit de l'anglais par Gérard Marino. – Paris : Société d'édition « Les Belles Lettres », 2017. – xxviii, 448 p. – (L'âne d'or ; 63). – 1 vol. broché de 15 × 21,5 cm. – 35,00 €. – isbn 978-2-251-44653-0.

Postiaux (Guy), *Kinésithérapie et bruits respiratoires : nouveau paradigme : nourrisson, enfant, adulte*. – Louvain-la-Neuve : De Boeck Supérieur, 2016. – xx, 465 p. – 1 vol. broché de 21 × 27 cm. – 75,00 €. – isbn 978-2-8073-0307-2.

Raven (Peter H.) - Johnson (Georges B.) - Mason (Kenneth A.) - Losos (Jonathan B.) - Singer (Susan R.), *Biologie*. – 4e édition / traducteur de la 11e édition américaine par Jules Bouharmont, Pierre L. Masson, Charles Van Hove ; révisions de T. Darribère, J.-Y. et E. Dubuisson, D. Higuet, H. Le Guyader, M. Manuel, E. Pilet, E. Quéinnec, F. Rousseau, Patrick du Jardin, Laurence Ladrière, Thierry Arnould. – Louvain-la-Neuve : De Boeck Supérieur, 2017. – xvi, 1282 + [93] p. – 1 vol. broché de 21,5 × 27,5 cm. – 75,00 €. – isbn 978-2-8073-0615-8.

Ricciardo (Salvatore), *Robert Boyle : un naturalista scettico*. – Brescia : Editrice Morcelliana, 2016. – 441 p. – (Quaderni per l'Università ; 16). – 1 vol. broché de 15 × 21 cm. – 32,00 €. – isbn 978-88-372-2903-0.

Riché (Denis), *L'épinutrition du sportif... ou comment le contenu de notre assiette module l'expression de nos gènes... et nos aptitudes physiques* / préface du Dr Philippe Raymond. – Louvain-la-Neuve : De Boeck Supérieur, 2017. – ix, 196 p. – 1 vol. relié de 17 × 24 cm. – 22,00 €. – isbn 978-2-8073-0653-0.

Schoenwolf (Gary C.) - Bleyl (Steven B.) - Brauer (Philip R.) - Francis-West (Philippa H.), *Embryologie humaine de Larsen*. – 4e édition / traduction de la 5e édition américaine par Henri Alexandre et Jean Milaire. – Louvain-la-Neuve : De Boeck Supérieur, 2017. – vi, 554 p. – 1 vol. broché de 21 × 27 cm. – 58,00 €. – isbn 978-2-8073-0650-9.

Singh-Cundy (Anu) - Shin (Gary), *Découvrir la biologie*. – 2e édition / traduction de la 6e édition américaine par Chrystelle Sanlaville et Dominique Charmot-Bensimon. – Louvain-la-Neuve : De Boeck Supérieur, 2017. – xxiii, 807 + [88] p. – 1 vol. broché de 21,5 × 27,5 cm. – 62,00 €. – isbn 978-2-8073-0287-7.

Taillet (Richard), *Optique géométrique*. – Louvain-la-Neuve : De Boeck Supérieur, 2017. – viii, 245 p. – (Sup en poche). – 1 vol. broché de 15 × 21 cm. – 16,00 €. – isbn 978-2-8073-0764-3.

Thayse (André), *Science, foi, religions : irréductible antagonisme ou rationalités différentes ?* / avec la collaboration de Marie-Hélène Thayse-Foubert ; préface de Jacques Neirynck. – Louvain-la-Neuve : Academia-L'Harmattan, 2016. – 162 p. – (Sciences et enjeux ; 7). – 1 vol. broché de 13,5 × 21,5 cm. – 16,50 €. – isbn 978-2-8061-0304-8.

Tort (Patrick), *Théorie du sacrifice : sélection sexuelle et naissance de la morale*. – Paris : Éditions Belin, 2017. – 225 p. – Un vol. broché de 15 x 22 cm. – 19,00 €. – isbn 978-2-410-01004-6.

Villain (Loïc), *Mécanique du point*. – Louvain-la-Neuve : De Boeck Supérieur, 2017. – vi, 249 p. – (Sup en poche). – 1 vol. broché de 15 × 21 cm. – 16,00 €. – isbn 978-2-8073-0766-7.

CONDITIONS D'ABONNEMENT (2018, VOL. 189)

L'abonnement est annuel, à partir de janvier,
et court jusqu'à ordre contraire.

En Belgique et au Luxembourg	45,00 €
abonnement de soutien	150,00 €
abonnement étudiant	22,50 €
Pour la France (TVA comprise)	49,82 €
Pour les autres pays (toutes taxes incluses)	60,67 €
Prix au numéro trimestriel (TVA comprise)	15,00 à 25,00 €
Pour paiement par chèque	ajouter 25,00 €

SECRÉTARIAT DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES :

61, rue de Bruxelles – 5000 Namur – Belgique
ING. (Avenue Marnix 24 B – 1000 Bruxelles)
IBAN : BE35 3500 0659 7537
BIC : BBRUBEBB
Fax : +32 (0)81 72 44 65
TVA : BE 407 654 574

Revue publiée avec l'aide financière

- du Fonds National de la Recherche Scientifique
- de l'Université de Namur (ESPHIN)
- du Fonds Wernaers


HELHa
Haute École Louvain en Hainaut
BELGE
SCIENCES
PLURIDISCIPLINAIRE
PHILOSOPHIE
HISTOIRE
FRANCOPHONE
HAUTE VULGARISATION
ACCESSIBLE
INFORMATIONS VALIDÉES
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ DE NAMUR
Revue des QUESTIONS SCIENTIFIQUES
Actualité, histoire et philosophie des sciences
ISSN 0035-2160
Tome 189, N°1-2, 2018
www.revuedesquestionsscientifiques.be
CE NUMÉRO : 25 €